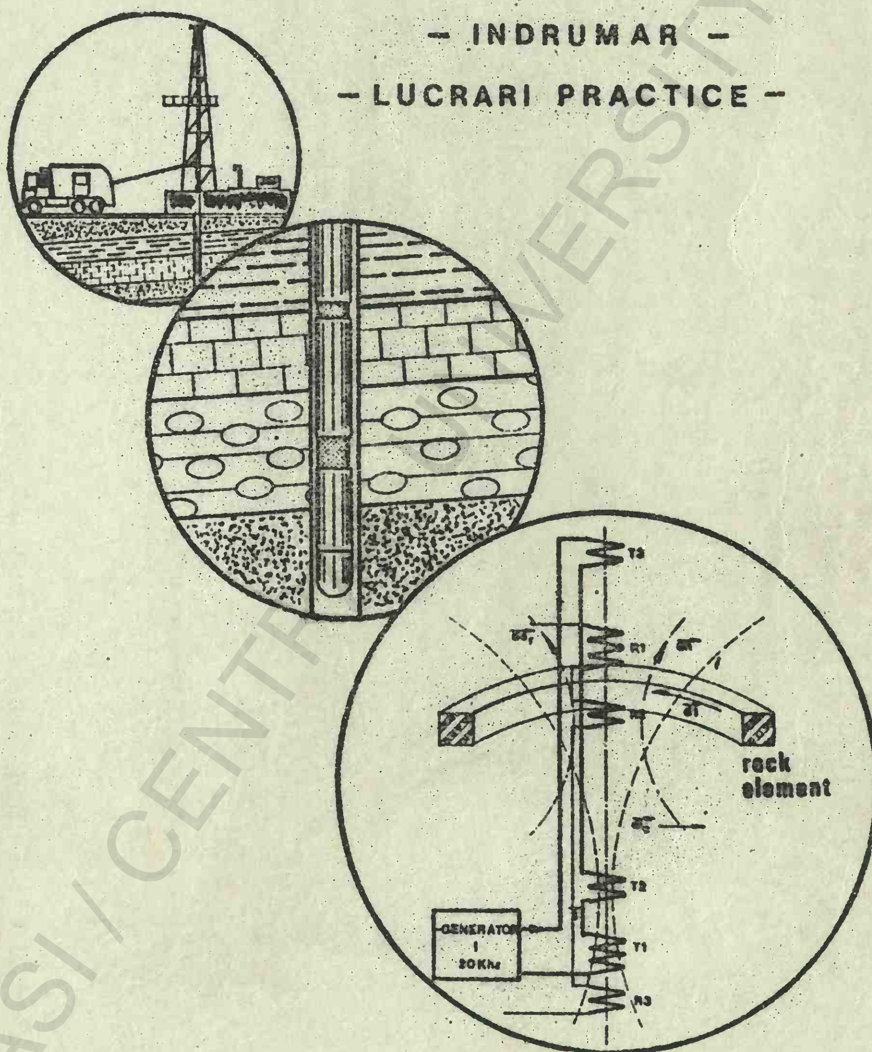
INSTITUTUL DE PETROL SI GAZE

A. BABSKOW I. MALUREANU

GEOFIZICA DE SONDA

— INDRUMAR —

— LUCRARI PRACTICE —



PLOIESTI 1986

INSTITUTUL DE PETROL ŞI GAZE

Dr. ing. Al. Babskow   Ing. I. Mălureanu

GEOFIZICA DE SONDA

- îndrumar lucrări practice -

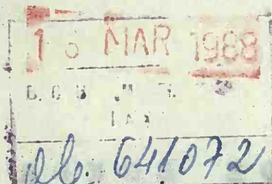


Ploieşti
- 1986 -

Referenţi ştiinţifici:

Prof. dr. ing. Al.Soare

Conf. dr. ing. M.Ionescu



BABSKOV,A. ; MĂLUREANU,I.
Geofizica de sondă ; îndrumar ; lucrări practice / A.Babskow , I. Mălureanu . - Ploieşti : Institutul de Petrol şi Gaze, 1986 . - 173p. multigr. & anexe . - (Institutul de Petrol şi Gaze) . -
Bibliogr.p.17o
55o.83:622.2(o75.8)
378-67:55o.83:622.2

Dactilografiat:M.Goicea

Grafica: N.Goicea

I N T R O D U C E R E

Geofizica de sondă face parte din geofizica industrială şi cuprinde metodele de investigare, control tehnic, probare şi deschidere a stratelor în timpul procesului de foraj şi exploatare a sondelor.

Prin efectuarea unui complex de măsurători geofizice în sonde, atît în cele netubate, cît şi în cele tubate şi prin prelucrarea şi interpretarea corespunzătoare a datelor obţinute, se poate asigura rezolvarea unor probleme legate de procesul de foraj şi exploatare a zăcămîntului, cum sînt:

- studierea profilului geologic şi litologic al stratelor traversate de sondă;
- corelarea geologică a profilelor de sondă;
- determinarea naturii stratelor geologice traversate de o sondă, a succesiunii acestora şi a adîncimii la care se găsesc;
- determinarea naturii litologice şi a proprietăţilor de colectoare ale stratelor geologice;
- evidenţierea stratelor purtătoare de substanţe minerale utile: hidrocarburi, minereuri, cărbuni etc.;
- determinarea parametrilor necesari studiilor inginereşti asupra rezervoarelor;
- estimarea volumelor totale de hidrocarburi şi a volumelor de hidrocarburi remanente şi vehiculabile ;
- controlul stării tehnice a sondelor în procesul de foraj şi obţinerea unor date necesare optimizării procesului de foraj;

- probarea rocilor colectoare pentru determinarea directă a conţinutului de substanţe minerale utile;

- deschiderea stratelor după tubarea sondelor, în vederea punerii lor în exploatare, prin operaţia de perforare şi alte aplicaţii.

Măsurătorile la sonde, pentru investigarea geofizică a acestora, se efectuează cu ajutorul unor utilaje speciale, montate de obicei pe două autovehicule (fig.I):

a) - autotroliul, pe care este instalat aşa-numitul granic sau troliu cu un cablu geofizic necesar introducerii dispozitivelor de investigare în sondă şi extragerii acestora;

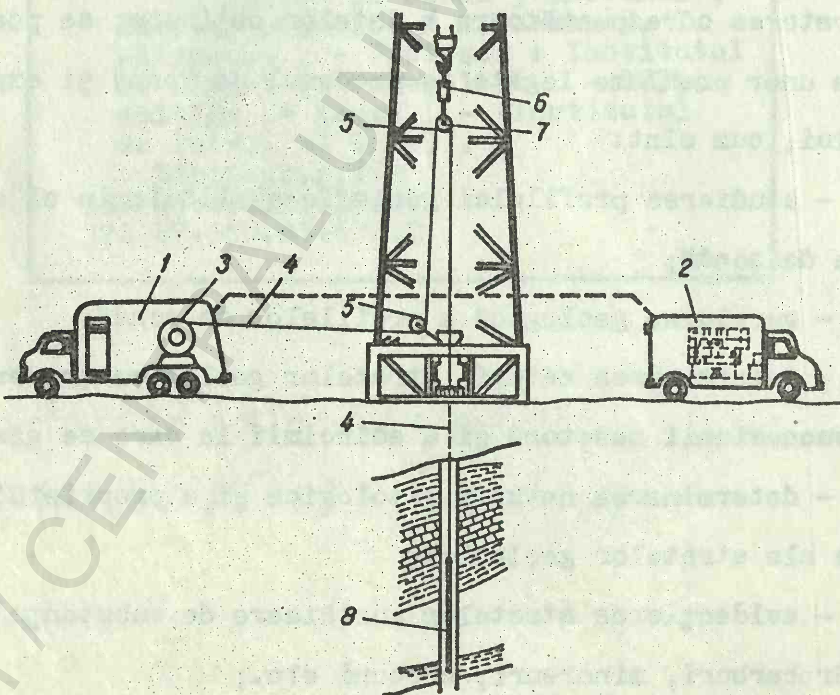


Fig. I. Utilajul pentru investigarea geofizică a sondelor:
1- autotroliu ; 2- autolaborator (staţie de carotaj); 3- troliu cu cablu geofizic ; 4- cablu geofizic; 5- role geamblac ; 6- traductor de greutate ; 7- motor sincron (selsin); 8- dispozitiv de sondă (electrodă).

- cablul geofizic sau cablul de carotaj utilizat pentru lansarea şi extragerea dispozitivului de investigare este alcătuit din: unul, trei sau şapte conductori electrici, din cupru cu secţiunea de 0,5 mm^2, izolaţi cu cauciuc sau cu teflon avînd la exterior o armătură metalică compusă din două straturi din sîrmă de oţel, înfăşurate în sensuri diferite pentru a asigura rezistenţă mecanică la întindere necesară operaţiilor în sonde.

Conductorii electrici servesc la trimiterea curentului electric necesar alimentării dispozitivului de investigare şi a semnalelor de măsură de la dispozitivul de sondă la echipamentul de suprafaţă.

b) - autolaboratorul sau staţia de carotaj conţine un ansamblu de aparatură şi instrumente de măsură şi control, care comandă, controlează şi reglează funcţionarea dispozitivelor de investigare introduse în sondă şi totodată primeşte, prelucrează şi redă semnalele primite de la dispozitivul de investigare. Staţia automată cuprinde următoarele părţi componente:

- panoul de forţă, care asigură alimentarea cu curent electric a tuturor elementelor staţiei;

- conexiunile exterioare la cablu, la sondă, la reţeaua electrică;

- panourile de bază necesare efectuării operaţiilor de investigare geofizică, prin care sînt alimentate dispozitivele de investigare în vederea creării cîmpurilor de interacţie şi măsurare;

- canalele de prelucrare calibrată a semnalelor primite din sondă ca urmare a măsurării;

- camera fotoînregistratoare, pentru asigurarea înregistrării pe hîrtie sau film fotosensibil a parametrilor fizici măsu-

raţi, în funcţie de adîncime, obţinîndu-se diagrama de carotaj sau diagrafia. Elementul de bază al camerei fotoînregistratoare este galvanometrul cu ajutorul căruia se efectuează măsurarea şi înregistrarea parametrilor geofizici.

Elementul care se introduce în sondă se numeşte dispozitiv de investigare sau electrodă şi este lansat cu ajutorul cablului geofizic pînă la limita inferioară a intervalului de investigat (de obicei pînă la talpa sondei). Parametrii măsuraţi se înregistrează, în general, în timpul extragerii cablului cu dispozitivul de investigare; doar unele înregistrări sînt efectuate în timpul introducerii dispozitivului (termocarotajul şi termometria de sondă).

Utilajul de investigare mai este completat cu o serie de dispozitive auxiliare, cum sînt:

- rolele de geamblac, pentru ghidarea cablului la lansare şi la extragere;

- traductorul (indicatorul) de greutate, folosit pentru măsurarea tensiunii mecanice în cablu, în timpul lansării şi extragerii acestuia;

- motorul selsin (sincron), pentru transmiterea mişcării cablului la dispozitivul de înregistrare şi marcare a adîncimilor de înregistrare şi altele.

Uneori, staţia de carotaj este montată pe acelaşi vehicul cu troliu, iar la o serie de operaţii la sonde se utilizează numai autotroliu cu un panou de comandă mai simplu.

CAPITOLUL I

CAROTAJUL DE REZISTIVITATE APARENTA

1.1. Rezistivitatea rocilor

Parametrul fizic măsurat în metodele de rezistivitate pentru cercetarea sondelor este rezistivitatea electrică ρ. Rezistivitatea electrică caracterizează proprietatea rocilor de a conduce în grad diferit curentul electric şi se defineşte ca rezistenţa electrică specifică raportată la un metru cub de rocă:

$$\rho = R\frac{S}{l} \quad (1.1)$$

în care:

ρ este rezistivitatea,
R - rezistenţa electrică [Ω],
S - secţiunea transversală, [m^2],
l - lungimea conductorului, [m].

Aşa cum rezultă din relaţia (1.1) rezistivitatea se exprimă în ohm-metru [Ω m]

Inversul rezistivităţii se numeşte conductibilitate electrică şi se exprimă în Siemens/metru [S/m]. In geofizica de sondă se utilizează ca unitate de măsură [mho/m]

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (1.2)$$

Rocile se caracterizează printr-o gamă foarte largă de variaţie a rezistivităţii electrice şi depinde de o serie de factori. Principalii factori care determină rezistivitatea unei roci sînt:

a) compoziţia mineralogică,
b) porozitatea şi conţinutul în fluide,
c) rezistivitatea fluidelor,
d) conţinutul în argilă, distribuţia şi rezistivitatea

proprie a materialului argilos,

e) temperatura.

a) <u>Compoziția mineralogică a rocii</u>. Rezistivitatea rocilor depinde de rezistivitatea mineralelor care formează scheletul mineral.

Dacă o rocă conține minerale cu conductibilitate electronică (pirită, magnetită, glauconit etc.) rezistivitatea ei va depinde de cantitatea acestor minerale și de distribuția lor în rocă.

In rocile sedimentare traversate în general de sondele forate pentru hidrocarburi, mineralele cu conductibilitate electronică se găsesc în cantități foarte mici, sub formă dispersată în masa rocii, în granule izolate între ele, astfel că influența lor asupra rezistivității este mică.

Principalele roci colectoare de hidrocarburi sînt rocile poroase-permeabile, silicioase (nisipuri și gresii) și carbonatate (calcare, dolomite, anhidrite). Mineralul preponderent care formează scheletul mineral al nisipurilor și gresiilor este SiO_2, iar pentru rocile carbonatate $CaCO_3$. Cele două minerale nu sînt bune conducătoare de electricitate, rezistivitatea cuarțului și a calcitului fiind de aproximativ $10^7 \Omega m$.

Rezultă că scheletul mineral al rocilor colectoare de hidrocarburi este rău conducător de electricitate, conductivitatea acestora fiind conferită de fluidele conținute în spațiul poros.

b) <u>Porozitatea și conținutul în fluide</u>. Porozitatea, m, este raportul dintre volumul spațiului poros V_p, și volumul total al rocii V_t, exprimat în procente

$$m = \frac{V_p}{V_t} \cdot 100 \ \% \qquad (1.3)$$

Porozitatea condiționează volumul de fluid conținut de rocă. Rocile poroase-permeabile conțin în spațiul poros fie hidrocarburi și apă de zăcămînt (apa interstițială), fie numai apă de zăcămînt (fig.1.a și 1.b). Cantitatea de apă S_a (saturația în apă) respectiv cantitatea de hidrocarburi S_h (saturația în hidrocarburi) va fi egală cu

$$\left. \begin{aligned} S_a &= \frac{V_a}{V_p} \\ S_h &= \frac{V_h}{V_p} \end{aligned} \right\} \qquad (1.4)$$

unde:

V_a este volumul de apă din spaţiul poros şi

V_h - volumul de hidrocarburi.

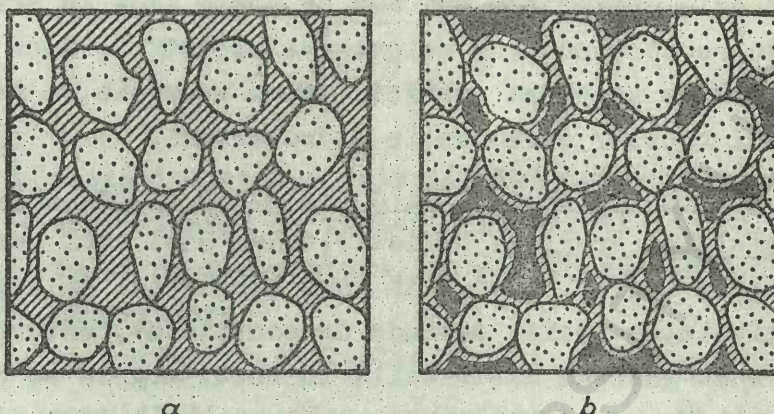


Fig. 1 - a. Rocă hidrofilă cu apă ; b. Rocă hidrofilă cu hidrocarburi - [matrice] matrice ; [apă] apă de zăcămînt; [hidrocarburi] hidrocarburi

Volumul de fluid din pori va fi:

$$S_a + S_h = \frac{V_a + V_h}{V_p} \quad (1.5)$$

Rocile colectoare de hidrocarburi sînt roci umede avînd întreg spaţiul poros umplut cu fluide. Atunci $V_a + V_h = V_p$, deci

$$S_a + S_h = 1 \quad (1.6)$$

Rocile poroase permeabile au o conductibilitate ionică, datorită fluidelor ce umplu porii lor, scheletul mineral fiind rău conducător de electricitate.

c) Rezistivitatea fluidelor din pori. Rocile poroase-permeabile pot conţine hidrocarburi şi/sau apă de zăcămînt. Cum petrolul şi gazele sînt izolatori aproape perfecţi (rezistivitatea petrolului = 10^9-16^{16} Ω m) fluidul care conferă conductibilitatea electrică a rocii este apa de zăcămînt.

Apele de zăcămînt sînt soluţii electrolitice de săruri, predominînd în general NaCl. In soluţie moleculele acestor săruri disociază în cationi şi anioni care permit o conducţie electrolitică a curentului electric. Despre rezistivitatea apei de zăcămînt se va reveni în capitolul II.

Este evident că, rezistivitatea unei roci poroase este dependentă atît de cantitatea de apă conţinută în spaţiul poros cît şi de rezistivitatea acesteia.

Din cele prezentate mai sus se poate face în primă etapă o apreciere asupra conţinutului colectoarelor astfel: dacă o rocă este saturată cu apă de zăcămînt rezistivitatea acesteia va fi mai mică decît în cazul rocilor care conţin hidrocarburi.

d) <u>Conţinutul în argilă, distribuţia şi rezistivitatea proprie a materialului argilos</u>: Rezistivitatea unei roci este afectată de conţinutul în argilă. Gradul în care conţinutul în argilă influenţează rezistivitatea rocii, depinde de cantitatea, natura chimică şi forma în care se găseşte distribuită în rocă. Argila se poate întîlni sub formă laminară, diseminată sau structurală (fig.2).

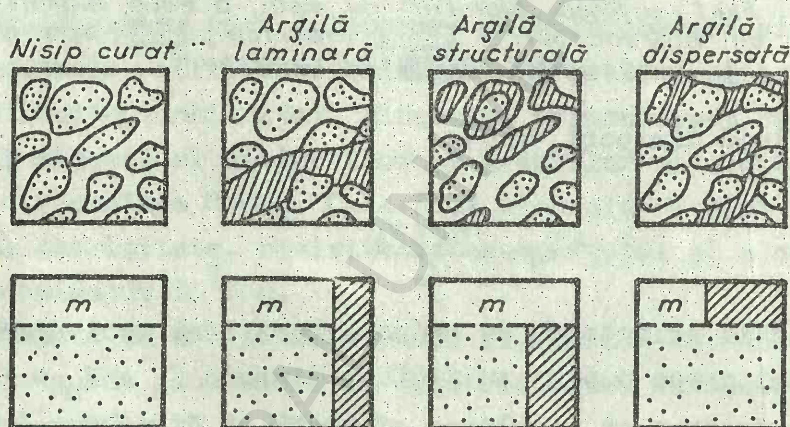


Fig.2. Modul de distribuţie a argilei în roci
Schelet mineral; Argilă; m Spaţiu poros.

Rezistivitatea unei roci argiloase scade cu creşterea conţinutului în argilă, deoarece argila acţionează ca un element conducător adiţional la cel dat de apa din spaţiul poros. Conductivitatea argilei se explică prin hidroliza parţială a mineralelor argiloase şi disocierea în ioni a produselor hidrolizei care conferă argilei o conductivitate proprie.

e) <u>Temperatura</u>. Rezistivitatea electrică a unui electrolit şi, prin urmare şi a rocii care îl conţine, este influenţată de temperatură, prin modificarea mobilităţii ionilor din soluţie, astfel că, la creşterea temperaturii creşte mobilitatea ionilor din electrolit şi prin urmare conduce la scăderea rezistivităţii rocii. La scăderea temperaturii fenomenul este invers, adică pentru acelaşi electrolit scăde-

rea temperaturii va determina o creştere a rezistivităţii. Variaţia rezistivităţii unui electrolit de concentraţie constantă cu temperatura este dată de relaţia

$$\rho^{T°C} = \frac{\rho^{20°C}}{1+\alpha_t(T°C - 20°C)} \qquad (1.7)$$

în care: $\rho^{20°C}$ - rezistivitatea electrolitului la temperatura de 20°C
α_t - coeficientul de variaţie a rezistivităţii electrolitului cu temperatura, cu o valoare medie de 0,025 $°C^{-1}$
T - temperatura
$\rho^{T°C}$ - rezistivitatea electrolitului la temperatura T.

Pentru expeditivitatea determinărilor practice s-au construit nomograme care dau dependenţa dintre rezistivitate şi temperatură (Abaca nr.1) .

1.2. Dependenţa rezistivitate-factor de formaţie-saturaţie

Se consideră un cub cu latura egală cu unitatea, dintr-un material neconductiv (scheletul mineral al unei roci) traversat de capilare rectilinii umplute cu un electrolit (fig.3). Porozitatea acestui eşantion de rocă poate fi determinată din raportul

$$m = \frac{V_p}{V_t} \qquad (1.8)$$

unde V_p este volumul spaţiului poros (reprezentat de capilarele rectilinii), iar V_t - volumul total al eşantionului (V_t = 1 m^3).

Dacă se consideră suprafaţa transversală totală a capilarelor egală cu A_p, atunci se poate scrie pentru, m, identitatea (din relaţia 1.8)

$$m = \frac{1 \times A_p}{1 \times 1 \times 1} = A_p \qquad (1.9)$$

(fiecare latură a eşantionului de rocă avînd lungimea de 1 m).

Rezistenţa între feţele transversale a şi b ale cubului poate fi scrisă sub forma

$$R_0 = \rho_{Ri} \frac{l}{A} \qquad (1.10)$$

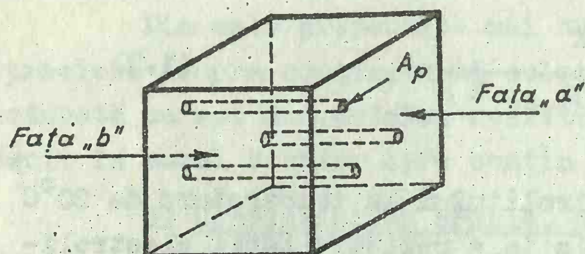


Fig. 3. Probă de rocă de volum unitar traversată de capilare rectilinii umplute cu electrolit (după Desbrandes)

unde: ρ_{Ri} este rezistivitatea volumului de rocă saturat cu electrolitul de rezistivitate ρ_{ai} din spațiile capilare, l şi A sînt lungimea, respectiv aria transversală totală a cubului de rocă, egale respectiv cu unitatea (l = 1 m şi A = 1 m^2).

Intrucît scheletul mineral al rocii este izolant, conducția electrică are loc exclusiv prin electrolitul din spațiul poros, astfel încît ecuația (1.10) poate fi scrisă, ținînd seama şi de ecuația (1.9), astfel:

$$R_0 = \rho_{Ri} = \rho_{ai} \frac{l}{A_p} = \frac{\rho_{ai}}{m} \qquad (1.11)$$

Din relația (1.11) se poate defini factorul de rezistivitate al formațiunii sau simplu factorul de formațiune sub forma raportului dintre rezistivitatea ρ_{Ri} a formațiunii saturate cu apă de zăcămînt, şi rezistivitatea ρ_{ai} a apei respective:

$$F = \frac{\rho_{Ri}}{\rho_{ai}} = \frac{1}{m} \qquad (1.12)$$

Factorul de formațiune determinat conform relației (1.12) este independent de rezistivitatea electrolitului din spațiul poros pentru o anumită rocă considerată, de porozitate m, pentru orice valoare $\rho_{ai} \leq 1 \Omega m$. Totuşi, s-a dedus în mod experimental, că în cazul unor ape de zăcămînt mai rezistive, valoarea lui F suferă o scădere cu creşterea valorilor ρ_{ai}, sau cu descreşterea dimensiunilor granulelor rocii avînd o porozitate cu caracter intergranular.

Desigur că forma simplă a factorului de formație, conform ecuației (1.12) respectiv ca fiind considerată $F = \frac{1}{m}$, nu este valabilă pentru cazul general al rocilor avînd o distribuție a porilor, total

diferită de cea a unor capilare rectilinii, ci sub forma unor spaţii poroase interconectate de canale subţiri, roca fiind caracterizată din acest punct de vedere de o anumită tortuozitate[x]. Factorul de formaţie este dependent, pe lîngă porozitate, de structura şi textura rocilor.

Dependenţa generală factor de formaţiune-porozitate este guvernată de relaţie Archie:

$$F = \frac{a}{m^{\nu}} \qquad (1.13)$$

în care a este o constantă determinată în mod empiric, iar

ν -factorul de cimentare sau indicele structural.

In practica interpretării diagrafiei geofizice se acceptă în general ca relaţie de dependenţă, în formaţiuni consolidate, o variantă a relaţiei Archie, de tipul

$$F = \frac{1}{m^{\nu}} \qquad (1.14)$$

unde ν ia valori conform tabelului.

Valorile factorului de cimentare ν din formula Archie (după Desbrandes şi Schlumberger Doc)

Tabelul 1

Roca	ν
- Nisipuri slab consolidate	1,3...1,6
- Gresii	1,8...2,0
- Calcar cu porozitate intergranulară, calcar cretos	2,0
- Calcar compact, calcar oolitic	2,2...2,5
- Dolomit	2,2...2,8

Pentru roci neconsolidate (nisipuri), se acceptă ca dependenţă generală formula Humble:

$$F = \frac{0,62}{m^{2,15}} \qquad (1.15)$$

---

x) Tortuozitatea: $T = \frac{l_c}{l}$ unde l_c = lungimea medie statistică a canalelor porilor
l = lungimea minimă (considerînd capilarele rectilinii).

Pe baza fromulelor (1.12) ÷ (1.15) s-au realizat abacele de interpretare pentru dependenţa F - m , din Abaca nr. 2.

In raport cu cele prezentate, se poate deduce că rezistivitatea unei roci saturate cu apă de zăcămînt de rezistivitate ρ_{ai} are valoarea

$$\rho_{Ri} = F \cdot \rho_{ai} \tag{1.16}$$

In cazul în care în spaţiul poros al rocii, pe lîngă apa de zăcămînt se găseşte şi un fluid neconducător, cum ar fi petrolul, se poate considera distribuţia fluidelor conform schemei din fig.4, în care apa de zăcămînt ocupă volumul V_a dat de relaţia

$$V_a = m S_a \tag{1.17}$$

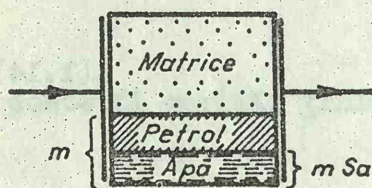


Fig.4. Schema simplificată a volumelor ocupate de diferiţi constituenţi (după Desbrandes)

unde S_a este saturaţia în apă dată de raportul

$$S_a = \frac{V_a}{V_p} \tag{1.18}$$

Rezistenţa R_t dintre feţele a şi b este dată, ţinînd seama de ecuaţia (1.9) de relaţia

$$R_t = \rho_R \frac{l}{A} = \frac{\rho_{ai}}{(m \cdot S_a)^2} \tag{1.19}$$

unde ρ_R este rezistivitatea reală a rocii, conţinînd apă de zăcămînt, de saturaţie S_a şi petrol, de saturaţie $S_h = 1 - S_a$, iar l şi A sînt, respectiv lungimea şi aria transversală a eşantionului de rocă, egale cu unitatea.

Tinînd seama de relaţiile (1.14-1.16) se poate deduce ecuaţia de dependenţă saturaţie-factor de formaţiune-rezistivitate, de forma

$$S_a^2 = \frac{\rho_{ai}}{m^2 \rho_R} = \frac{F \rho_{ai}}{\rho_R} = \frac{\rho_{Ri}}{\rho_R} = \frac{1}{I_\rho} \quad (1.20)$$

unde

$$I_\rho = \frac{\rho_R}{\rho_{Ri}} \quad (1.21)$$

reprezintă indicele de rezistivitate.

In sens mai larg, ecuaţia (1.2o) poate fi scrisă sub forma

$$S_a^n = \frac{F \cdot \rho_{ai}}{\rho_R} \quad (1.22)$$

unde n este exponentul de saturaţie, care poate lua valori cuprinse între 1,6...2,2.

Relaţia (1.22) mai poate fi scrisă sub forma "relaţiei generale a interpretării cantitative".

$$S_a = \sqrt[n]{\frac{F \cdot \rho_{ai}}{\rho_R}} \quad (1.23)$$

Exemplu

Să considerăm o rocă cu porozitatea m = 25 %.

Factorul de formaţiune poate fi determinat

$$F = \frac{1}{m^2} = \frac{1}{0,625} = 16$$

Considerînd rezistivitatea apei de zăcămînt ρ_{ai} = 0,05 $\Omega \cdot m$ rezistivitatea rocii saturate cu apă este

$$\rho_{Ri} = F \cdot \rho_{ai} = 16 \cdot 0,05 = 0,8 \ \Omega m$$

Dacă în stratul conţinînd petrol, se determină o rezistivitate ρ_R = 10 Ωm, se poate calcula

$$S_a = \sqrt{\frac{\rho_{Ri}}{\rho_R}} = \sqrt{\frac{0,8}{10}} = 0,28$$

adică saturaţia în apă este S_a = 28 %.

Saturaţia în hidrocarburi va fi: $S_h = 1 - S_a = 1 - 0,28 = 0,72$ respectiv $S_h = 72\ \%$.

1.3. Fenomenul de invazie şi influenţa lui asupra rezistivităţii rocii

Stratele poroase-permeabile (colectoare) permit acumularea şi respectiv circulaţia de fluide gaze, petrol, apă. Pentru a putea constitui un rezervor aceste strate trebuie să aibă în culcuş şi acoperiş strate impermeabile.

Stratele impermeabile au porozitatea efectivă practic egală cu zero şi nu permit circulaţia fluidelor.

In dreptul stratelor poroase-permeabile străbătute de o sondă, are loc fenomenul de invazie, respectiv separarea din noroiul de foraj a fazei lichide – compusă din apă, sărurile dizolvate şi din elementele coloidale – sub formă de filtrat şi pătrunderea acestuia în strat. Această pătrundere a filtratului de noroi în rocă are loc sub acţiunea diferenţei de presiune dintre presiunea hidrostatică a coloanei de noroi, p_h, şi presiunea de zăcămînt "p_z" – cunoscut sub numele de fenomen de invazie. Ca urmare are loc formarea unor zone succesive ilustrate în fig. 5.a, ale căror caracteristici sînt prezentate în tabelul 2.

Ca urmare a fenomenului de invazie are loc o distribuţie diferită a filtratului de noroi, a petrolului sau gazelor şi a apei care duce la schimbarea rezistivităţii în direcţie radială. O reprezentare calitativă asupra distribuţiei fluidelor şi rezistivităţilor corespunzătoare este dată în fig. 5.b şi c.

In stratele acvifere (fig.5.b), rezistivitatea scade treptat de la valoarea ρ_{io} în subzona spălată la valoarea $\rho_R = \rho_{Ri}$, a rezistivităţii rocii saturate cu apă în zona necontaminată. Această scădere treptată se explică prin variaţia rezistivităţii fluidului, rezistivitatea filtratului de noroi fiind mai mare decît rezistivitatea apei de zăcămînt.

In strate petrolifere (fig.5.c), rezistivitatea creşte treptat de la valoarea ρ_{io} la valoarea ρ_R. Această creştere se datoreşte creşterii conţinutului în petrol cu rezistivitatea mult mai mare decît a filtratului de noroi.

Măsurătorile de rezistivitate efectuate în carotajul electric,

se raportează la un volum de mediu în care intră noroiul din sondă, turta de noroi, zona de invazie, zona necontaminată şi stratele adiacente (pentru strate de grosime mică) de unde reiese că parametrul măsurat este o valoare aparentă a rezistivităţii. Pentru a atinge o interpretare precisă a rezultatelor carotajului electric în general este necesar a fi luaţi în considerare toţi factorii care influenţează valoarea rezistivităţii măsurate.

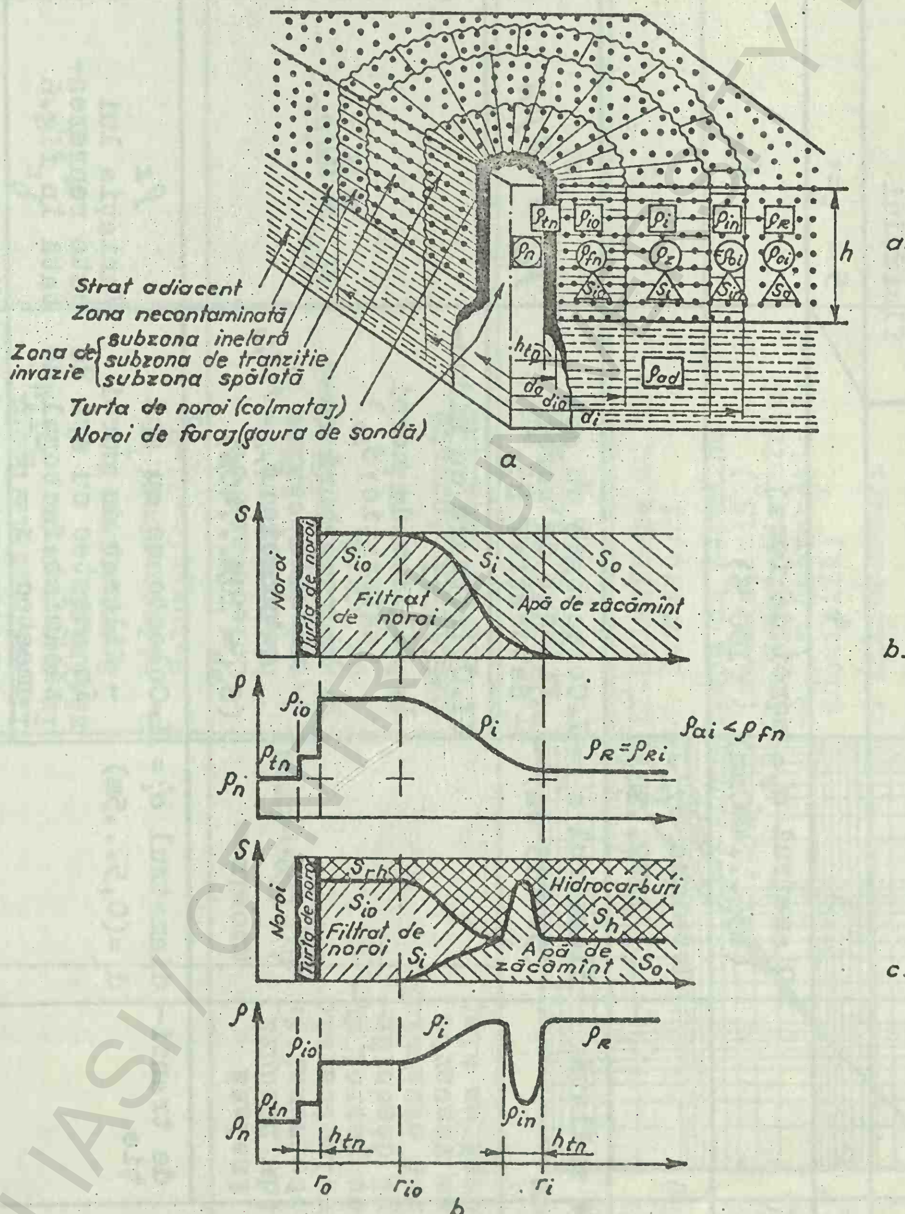
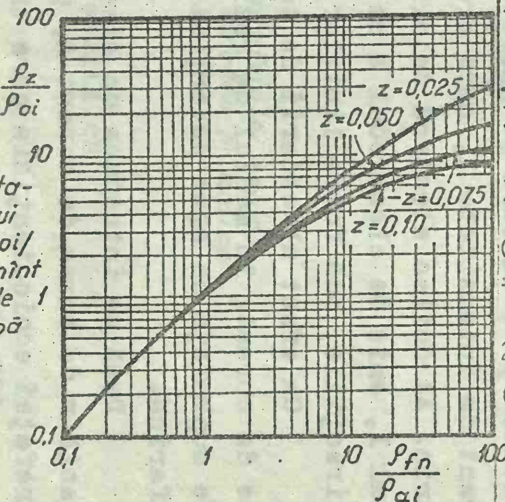


Fig. 5. Efectul fenomenului de invazie în dreptul stratelor poroase-permeabile : a- secţiune transversală şi longitudinală ; b-profilele rezistivităţilor ; b - colector cu apă ; c - colector cu hidrocarburi.

EFECTUL FENOMENULUI DE INVAZIE IN ROCILE POROASE-PERMEABILE
ASUPRA PARAMETRULUI REZISTIVITATE

Zona	Subzona	Dimensiuni	Fluidul saturat	Rezistivitatea fluidului	Rezistivitatea (m) zonei
1	2	3	4	5	6
Sondă		Diametrul d_s= (135...440mm)	noroi de foraj (100 %)	ρ_n	ρ_n
Turtă de colmataj		Grosimea h_{tn}= (1/32"...2")	-	-	$\rho_{tn} \simeq 1,5\rho_n$ (1.24)
de invazie	spălată	diametrul d_{io}= (5...15 cm)	I.Colectoare cu apă Filtrat de noroi Saturație: S_{io}	$\rho_{fn} \simeq 0,8\rho_n$	$\rho_{io} = F\cdot\rho_{fn}$ (1.25)
			II.Colectoare cu hidrocarburi 1. filtrat de noroi (saturație: S_{io}) 2. hidrocarburi reziduale saturație: $S_{rh} = 1-S_{io}$ (S_{rh}= 10%...40%)	$\rho_{fn} \simeq 0,8\rho_n$	$\rho_{io} = \frac{F\cdot\rho_{fn}}{(1-S_{rh})^2}$ (1.26)
	de tranziție	diametrul d_i= d_i=(0,5...5m)	I.Colectoare cu apă - filtrat de noroi în amestec cu apă de zăcămînt: factorul de amestec $z = F^{-1,41}$	ρ_z Variația lui este reprezentată în fig.6	$\rho_i = F\cdot\rho_z$ (1.27)
			sau z = 5 % pt.10% < m < 18% z = 7,5% pt.18% < m < 25 % z = 10 % pt. m > 25 %		

1	2	3	4	5	6
			II. Colectoare cu hidrocarburi 1. Filtrat de noroi în amestec cu apă de zăcămînt Saturație: S_i 2. hidrocarburi Saturație: $1-S_i$	ρ_z [v.I]	$\rho_i = \frac{F \cdot \rho_z}{S_i^2}$ (1.28)
	inelară (de bordură) obs. numai în colectoarele cu petrol, după deschiderea stratului; se resoarbe după un timp	grosimea $h_{in}=(10...20cm)$	Colectoare cu hidrocarburi 1. apă de zăcămînt în amestec cu filtrat de noroi 2. hidrocarburi Obs. preponderentă – apa de zăcămînt	$\approx \rho_{ai}$	$\rho_{in} \approx F \cdot \rho_{ai}$ (1.29)
necontaminată Fig.6. Rezistivitatea amestecului filtrat de noroi/apă de zăcămînt în subzona de tranziție (după Pirson)			I. Colectoare cu apă – apa de zăcămînt $S_a = 100$ %	ρ_{ai}	$\rho_{Ri} = F \cdot \rho_{ai}$ (1.30)
			II. Colectoare cu hidrocarburi 1. apă de zăcămînt (saturație: S_a) Obs. Saturația minimă $=S_{a,ir}$ (saturația ireductibilă) 2. hidrocarburi (saturația $S_h = 1-S_a$)	ρ_{ai}	$\rho_R = \frac{F \cdot \rho_{ai}}{(1-S_h)^2}$ (1.31)

4. Principiul metodelor de rezistivitate aparentă

In carotajul de rezistivitate aparentă se înregistrează variaţia rezistivităţii aparente de-a lungul profilului unei sonde care dă posibilitatea separării după litologie a rocilor traversate, determinării parametrilor petrofizici, necesari proiectării exploatării şi estimării rezervelor de hidrocarburi.

Principial, pentru determinarea rezistivităţii rocilor traversate de sondă se utilizează un dispozitiv cuadripal AMNB, unde A şi B sînt electrozi de alimentare iar M şi N electrozi de măsură. Curentul electric de intensitate I este introdus în rocă prin electrozii A şi B, creînd un cîmp electric E şi între electrozii M şi N o diferenţă de potenţial ΔV. Rezistivitatea rocii ρ este proporţională cu diferenţa de potenţial creată ΔV şi invers proporţională cu intensitatea curentului

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \qquad (1.32)$$

unde:

K este o constantă care depinde de configuraţia geometrică a dispozitivului.

Se consideră un mediu omogen şi izotrop, infinit, de rezistivitate ρ, în care se găseşte un electrod A, alimentat de un curent de intensitate I, care crează în mediul considerat un cîmp electric. Al doilea electrod de alimentare (B) se află la infinit. Curentul I, emis de electrodul A se distribuie radial, uniform în toate direcţiile, sub forma liniilor de cîmp ale densităţii de curent, j

Ca efect al căderii de tensiune de-a lungul liniei de densitate de curent, în mediul de rezistivitate ρ, se formează o serie de suprafeţe de egal potenţial - suprafeţe echipotenţiale - de formă sferică.

Dacă se introduce un electrod de măsură punctiform M, la o distanţă r de sursa de curent A, poate fi măsurat potenţialul V_M al suprafeţei echipotenţiale care trece prin punctul M.

Pentru determinarea valorii potenţialului V_M, se poate porni de la expresia densităţii de curent prin suprafaţa sferică de rază r, dată de relaţia

$$j = \frac{I}{4\pi r^2} \qquad (1.33)$$

In punctul M (fig.7) situat la distanţa r de electrodul A, valoarea intensităţii cîmpului electric E, este

$$E = \rho j = \frac{\rho \cdot I}{4\pi r^2} \qquad (1.34)$$

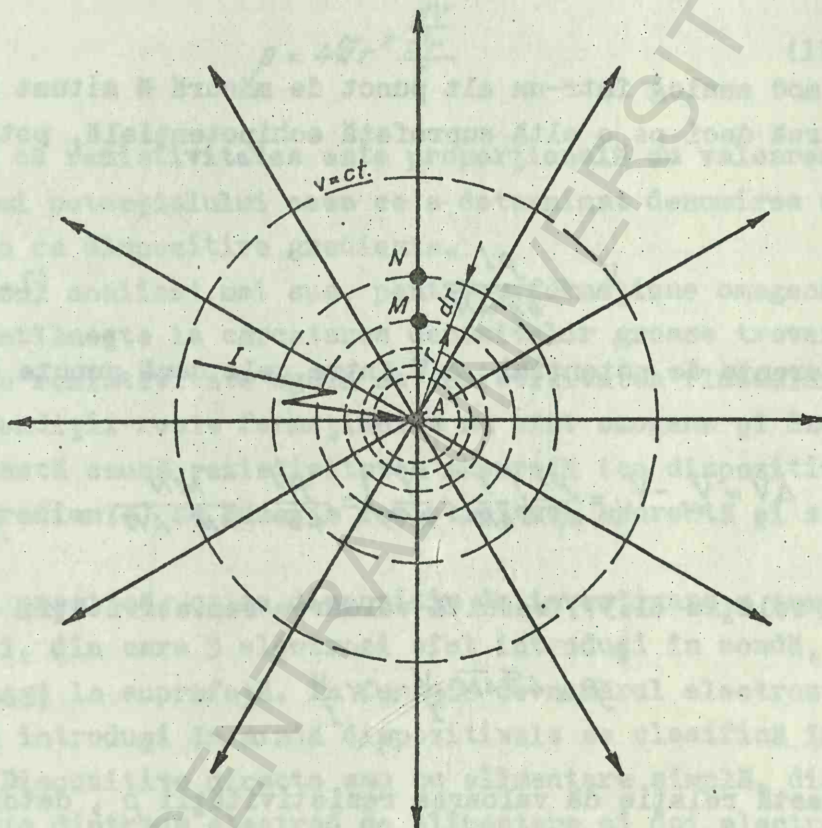


Fig.7. Liniile de cîmp şi suprafeţele echipotenţiale pentru un mediu omogen şi izotrop

Intrucît $E = -\operatorname{grad} V = -\frac{dV}{dr}$ rezultă că:

$$dV = -\frac{\rho I}{4\pi} \cdot \frac{dr}{r^2} \qquad (1.35)$$

Prin integrarea relaţiei (1.35) între r şi ∞ (unde potenţialul este nul) se obţine:

$$V = -\int_{\infty}^{r} \frac{\rho I}{4\pi} \cdot \frac{dr}{r^2} = \frac{\rho I}{4\pi r} \quad (1,36)$$

Potenţialul în punctul M, poate fi scris

$$V_M = \frac{\rho I}{4\pi \overline{AM}} \quad (1.37)$$

unde $\overline{AM} = r$

In mod analog într-un alt punct de măsură N situat la distanţa $\overline{AN}$ de sursă deci pe o altă suprafaţă echipotenţială, potenţialul va fi:

$$V_N = \frac{\rho I}{4\pi \overline{AN}} \quad (1.38)$$

Diferenţa de potenţial ΔV între cele două puncte de măsură M şi N este

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{\rho I}{4\pi}\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN}\right) = \frac{\rho I}{4\pi} \cdot \frac{MN}{AM \cdot AN} \quad (1.39)$$

Din relaţia (1.37) rezultă valoarea rezistivităţii

$$\rho = 4\pi \overline{AM} \frac{V}{I} = K \frac{V}{I} \quad (1.40)$$

Această relaţie dă valoarea rezistivităţii ρ, datorate unei măsurători a potenţialului V, cu ajutorul unui dispozitiv cu doi electrozi. Acest dispozitiv este numit dispozitiv potenţial ideal.

De asemenea rezistivitatea se poate obţine din relaţia (1.39)

$$\rho = 4\pi \frac{\overline{AM} \cdot \overline{AN}}{MN} \cdot \frac{\Delta V}{I} = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1.41)$$

Relaţia (1.41) permite determinarea rezistivităţii, măsurînd diferenţa de potenţial ΔV cu ajutorul unui dispozitiv cu trei electrozi, un electrod de curent şi doi electrozi de măsură M şi N situaţi la distanţă mică. Dacă relaţia (1.41) se scrie sub forma :

$$\rho = 4\pi\, \overline{AM}\cdot\overline{AN}\, \frac{\frac{\Delta V}{\overline{MN}}}{I} \qquad (1.42)$$

Intrucît M şi N sînt foarte apropiaţi se poate scrie

$$AM \simeq AN \simeq r$$

$$MN \simeq dr$$

$$\Delta V_{MN} = dV$$

atunci relaţia (3.11) devine

$$\rho = 4\pi r^2 \frac{\frac{dV}{dr}}{I} \qquad (1.43)$$

Se observă că rezistivitatea este proporţională cu valoarea medie a gradientului potenţialului ceea ce a determinat denumirea acestor dispozitive ca dispozitive gradiente.

Cazul analizat mai sus, pentru o formaţiune omogenă şi izotropă se întîlneşte la cercetarea depozitelor groase traversate de sondă, cu o rezistivitate egală cu rezistivitatea fluidului de foraj. In condiţii reale formaţiunile nu sînt omogene şi izotrope şi din această cauză rezistivitatea măsurată (cu dispozitive potenţiale şi gradiente) se numeşte rezistivitate aparentă şi se notează cu ρ_a.

In practică, orice dispozitiv de investigare e compus din 4 electrozi, din care 3 electrozi sînt introduşi în sondă, iar unul este amplasat la suprafaţă. In funcţie de numărul electrozilor de alimentare introduşi în sondă dispozitivele se clasifică în:

- Dispozitive directe sau cu alimentare simplă, dispozitivele formate dintr-un electrod de alimentare şi doi electrozi de măsură.
- Dispozitive reciproce sau cu alimentare dublă, dispozitivele care conţin doi electrozi de alimentare şi un electrod de măsură.

Pentru dispozitivele de rezistivitate se pot determina următoarele caracteristici:

- constanta dispozitivului - K - care depinde de configuraţia geometrică a dispozitivului;
- lungimea dispozitivului, care se notează cu:

L_p - pentru dispozitiv potenţial (reprezintă distanţa

dintre electrozii A şi M $[L_p = (\overline{AM})(\overline{MA})]$

L_g - pentru un dispozitiv gradient, reprezintă distanţa dintre electrodul nepereche şi punctul mediu O (situat la jumătatea distanţei dintre electrozii pereche) $[L_g = \overline{OA}(\overline{OM})]$

- punctul de măsură este punctul la care se raportează valoarea rezistivităţii măsurate;
- raza de investigaţie este raza sferei cu centrul în punctul de măsură de la care provine cel puţin 50 % din valoarea rezistivităţii măsurate.

Aceste caracteristici sînt redate în tabelul 2.

Tabelul 2

	Disp. potenţial		Disp. gradient	
	Direct	Reciproc	Direct	Reciproc
Caracteristici	B; N; M; A; y; x; Lp; *	N; B; A; M; y; x; Lp; *	B; A; M; O; N; y; x; Lg; *	N; M; A; O; B; y; x; Lg; *
Simbol	AxMyN	MxAyB	NxMyB	BxAyM
Condiţii	$AM \leq \frac{1}{10} MN$	$MA \leq \frac{1}{10} AB$	$NM \leq \frac{1}{10} MA$	$BA \leq \frac{1}{10} AM$
Constanta	$K = 4\pi \frac{AM \cdot AN}{MN}$	$K = 4\pi \frac{MA \cdot MB}{AB}$	$K = 4\pi \frac{NA \cdot MA}{NM}$	$K = 4\pi \frac{BM \cdot AM}{BA}$
Lungimea	$Lp = AM$	$Lp = MA$	$Lg = OA$	$Lg = OM$
Raza de inv.	$r_{ip} = 2Lp = 2AM$	$r_{ip} = 2Lp = 2MA$	$r_{ig} = Lg = OA$	$r_{ig} = Lg = OM$

x, y este distanţa dintre electrozi, măsurată în metri

* punct de înregistrare (de măsurare)

CAPITOLUL II

POTENTIALUL SPONTAN SAU NATURAL

Potenţialul spontan sau potenţialul natural, ia naştere la interfaţa dintre noroiul de foraj şi formaţiunile traversate de sondă ca urmare a unor fenomene de activitate electrochimică. Procesele fizico-chimice care dau naştere potenţialului spontan sînt:

a) procesul de difuzie
b) procesul de adsorbţie
c) procesul de electrofiltraţie
d) procesul de oxidare-reducere.

Componenta principală a potenţialului spontan, în rocile sedimentare colectoare de hidrocarburi este dată de procesul de adsorbţie şi de difuzie şi constituie potenţialul de difuzie-adsorbţie.

a) <u>Procesul de adsorbţie</u>

Pentru a explica formarea potenţialului de adsorbţie, argila adiacentă stratului poros-permeabil, care separă noroiul din sondă, de apa de zăcămînt conţinută în stratul poros-permeabil poate fi considerată ca o membrană cationică (fig.8). Noroiul, respectiv filtratul de noroi şi apa de zăcămînt pot fi considerate ca două soluţii electrolitice de NaCl, din care, prima este mai diluată, avînd concentraţia C_{fn} mai mică decît cea de-a doua C_{ai} $(C_{fn} < C_{ai})$ Avînd concentraţii diferite cele două soluţii vor avea rezistivităţi diferite, rezistivitatea filtratului de noroi ρ_{fn} fiind mai mare decît rezistivitatea apei de zăcămînt ρ_{ai}.

Moleculele de sare din soluţiile respective se disociază ionic, în cationi Na^+ şi anioni Cl^-. Ca urmare a diferenţei de densitate a ionilor în soluţia concentrată faţă de soluţia diluată, are loc o migraţie a acestora dinspre soluţia concentrată spre soluţia diluată.

Membrana de argilă permite trecerea cationilor de Na^+ care

se formează în soluţie, de la soluţia mai concentrată (apa de zăcămînt) la cea mai diluată (filtratul de noroi) şi opreşte anionii Cl^-, prin adsorbţia acestora.

Ca urmare, are loc stabilirea unui echilibru ionic, soluţia iniţial mai diluată încărcîndu-se pozitiv în raport cu soluţia mai concentrată, luînd naştere un potenţial de adsorbţie, dat de relaţia

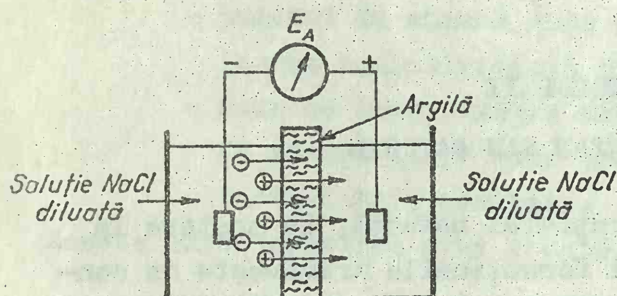


Fig.8. Potenţialul de adsorbţie

$$E_A = \frac{RT}{F} \ln \frac{a_{ai}}{a_{fn}} \qquad (2.1)$$

unde: R este constanta gazelor perfecte [8314 J/kmol.K]
T – temperatura absolută [K]
F – constanta Faraday [96540 C]
a_{ai} şi a_{fn} – activităţile electrochimice a soluţiei concentrate (apa de zăcămînt), respectiv a celei diluate (filtratul de noroi).

Intr-o primă aproximaţie se poate scrie

$$\begin{cases} a_{ai} \simeq Ac_{ai} = \dfrac{A}{\rho_{ai}} \\ a_{fn} \simeq Ac_{fn} = \dfrac{A}{\rho_{fn}} \end{cases} \qquad (2.2)$$

unde A este o constantă de proporţionalitate
c_{ai} şi c_{fn} – concentraţiile în NaCl ale apei de zăcămînt şi, respectiv
ρ_{ai} şi ρ_{fn} – rezistivităţile respective.

Tinînd seama de ecuaţia (2.2) şi trecînd în ecuaţia (2.1) de la "ln" la "log", potenţialul de adsorbţie va avea expresia

$$E_A = K_A \log \frac{\rho_{fn}}{\rho_{ai}} \qquad (2.3)$$

unde: K_A este constanta de adsorbţie şi care la temperatura de 25°C are valoarea K_A = 59,1 mV.

b) Procesul de difuzie

Pentru explicarea formării potenţialului de difuzie, se consideră zonă de invazie a stratului poros-permeabil sub forma unei membrane poroase-permeabile care separă cele două soluţii electrolitice (fig.9). Ca şi în cazul anterior, cationii de Na^+ şi anionii de Cl^-, migrează din soluţia concentrată (apa de zăcămînt) spre soluţia diluată (filtratul de noroi). Ca urmare a diferenţei de mobilitate dintre anionii Cl^- ($v = 67,6 \cdot 10^{-5}$ cm/s.V) şi cationii Na^+ ($u = 45,6 \cdot 10^{-5}$ cm/s.V) are loc stabilirea unui echilibru ionic, soluţia mai diluată încărcîndu-se negativ (mobilitatea ionului de Cl fiind mai mare decît a ionului de Na) în raport cu soluţia mai concentrată, luînd naştere potenţialul de difuzie, dat de relaţia

$$E_D = -\frac{v-u}{v+u} \cdot \frac{RT}{F} \ln \frac{\alpha_{ai}}{\alpha_{fn}} \tag{2.4}$$

sau, ţinînd seama de ecuaţiile(2.2)

$$E_D = -K_D \log \frac{\rho_{fn}}{\rho_{ai}} \tag{2.5}$$

unde K_D este constanta de difuzie şi care la temperatura de 25°C are valoarea K_D = 11,66 mV.

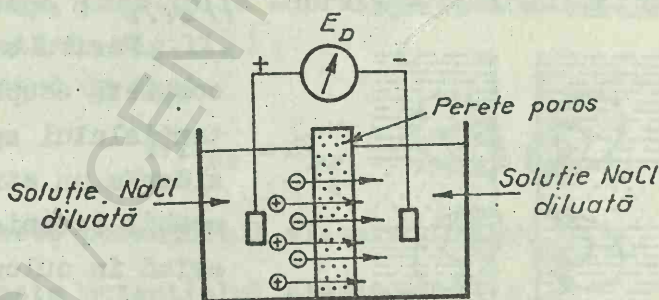


Fig. 9. Potenţialul de difuzie

*

* *

Pentru un strat poros-permeabil de grosime mare (fig.1o.a), saturat cu apă de zăcămînt, suma algebrică a celor două potenţiale reprezintă potenţialul de difuzie-adsorbţie, E_{DA}, identificîndu-se cu potenţialul spontan static, E_{PSS}

$$E_{DA} = E_{PSS} = -E_A + E_D = -K \log \frac{\rho_{fn}}{\rho_{ai}} \quad (2.6)$$

unde K este constanta de difuzie-adsorbţie şi care la temperatura de 25 °C are valoarea K = -70,7 mV.

Relaţia (2.6) este valabilă pentru roci "curate", respectiv fără conţinut de argilă, precum şi pentru cazul unor soluţii de NaCl.

In cazul general, al unor soluţii conţinînd şi alte săruri, relaţia generală care reprezintă potenţialul spontan static are forma

$$E_{PSS} = -K \log \frac{(\rho_{fn})_e}{(\rho_{ai})_e} \quad (2.7)$$

în care se introduc rezistivităţile echivalente $(\rho_{fn})_e$ a filtratului de noroi şi $(\rho_{ai})_e$ a apei de zăcămînt.

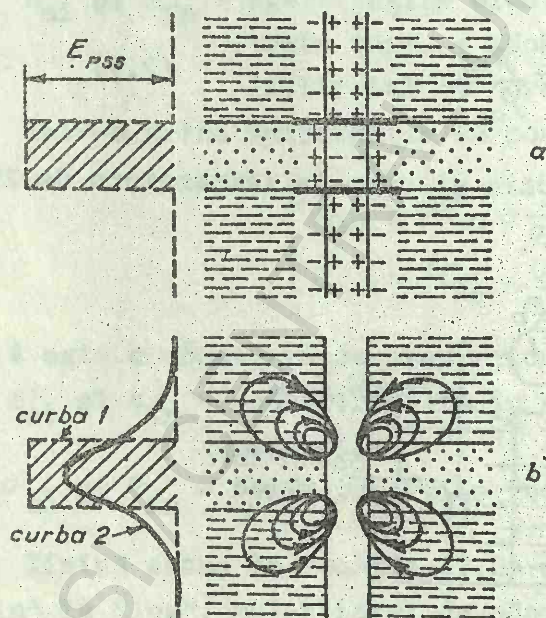


Fig. 10. Potenţialul spontan static şi potenţialul spontan înregistrat

Pentru o imagine mai completă asupra formării potenţialului spontan, să considerăm un strat poros permeabil (gresie sau nisip) avînd în culcuş şi acoperiş roci impermeabile (marne şi/ sau argile) traversat de o sondă.

In dreptul stratului poros-permeabil procesul predominant va fi procesul de difuzie, astfel că ionii de Cl- vor trece din soluţia

mai concentrată (apa de zăcămînt) în soluţia mai puţin concentrată (noroiul de foraj).

In dreptul stratelor impermeabile procesul predominant va fi cel de adsorbţie, ionii care trec în noroiul de foraj fiind cei de Na^+.

In consecinţă, potenţialul măsurat în faţa stratelor poroase-permeabile este negativ în raport cu potenţialul din faţa argilelor care este pozitiv. Rezultă că stratele poroase-permeabile sînt puse în evidenţă pe curbele de P.S. prin anomalii electronegative.

După cum se vede în fig.10.b, curenţii de P.S. curg prin trei medii cu rezistivităţi diferite: noroiul de foraj, stratul poros-permeabil şi argilele adiacente. Dacă stratul prezintă o zonă de invazie cu filtrat de noroi va interveni şi această zonă. Ne rezumăm însă numai la cazul simplificat prezentat în această figură.

Dacă curenţii I_{PS} ar fi împiedicaţi să curgă din mediile adiacente cu ajutorul unor ecrane izolatoare plasate în cursul şi acoperişul stratului potenţialul măsurat E_{PS} ar fi egal cu potenţialul total sau static E_{PSS} (fig.10.b, curba 1). Cum aceşti curenţi nu pot fi împiedicaţi să curgă din stratele adiacente, curba înregistrată diferă de cea teoretică, depăşind lateral limitele stratului. (fig.10.b, curba 2).

Potenţialul natural al rocilor se înregistrează cu ajutorul unui electrod de măsură M ce se deplasează în sondă. De regulă aceste potenţiale sînt înregistrate în raport cu un electrod N plasat la mare distanţă, practic la suprafaţa pămîntului. O schemă de măsură este redată în fig.11.

Se măsoară de fapt

$$\Delta E_{PS} = E_{PS}^{M} - E_{PS}^{N} \qquad (2.8)$$

unde: E_{PS}^{M} - este potenţialul electrodului M.

E_{PS}^{N} - este potenţialul electrodului N.

Deoarece potenţialul electrodului N este constant, curba de P.S. reprezintă de fapt variaţia potenţialului spontan al electrodului M, deplasat de-a lungul sondei.

Potenţialul spontan al rocilor se înregistrează sub forma unor curbe funcţie de adîncime, de regulă simultan cu rezistivitatea aparentă. Această curbă este înscrisă pe trasa din stînga diagramei.

Scara de înregistrare este de 12,5 mV/div sau 10 mV/div, cu valorile electronegative în stînga.

Aşa cum s-a arătat mai sus valorile înregistrate ale curbei de P.S. în dreptul argilelor sau marnelor sînt electropozitive şi relativ constante plasîndu-se practic pe o linie dreaptă. Această dreaptă poartă denumirea de <u>linia marnelor</u>. Anomaliile de P.S., în milivolţi, vor fi măsurate în raport cu această linie.

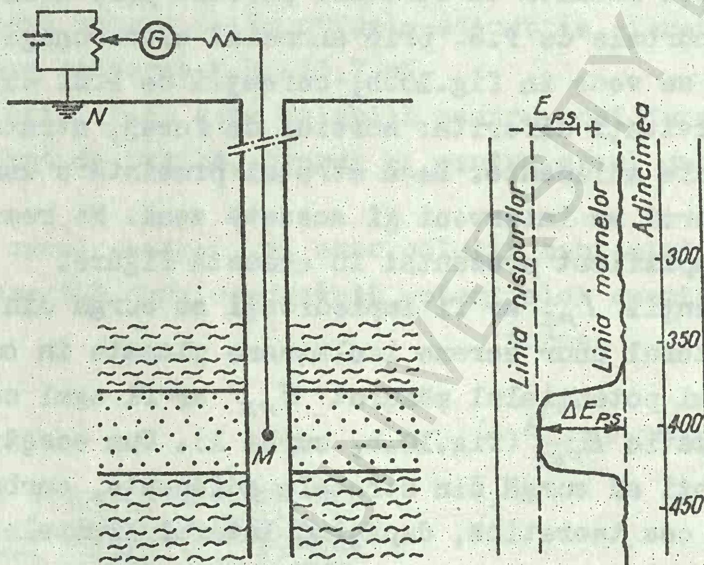


Fig. 11. Schema principială de măsură a potenţialului spontan

Prin valorile maxime electronegative ale P.S. se poate trasa o a doua linie care poartă denumirea de <u>linia nisipurilor</u>. Valori maxime electronegative prezintă nisipurile şi gresiile curate (fără conţinut de argilă) saturate cu apă.

In mod frecvent se va sesiza faptul că linia nisipurilor nu va atinge toate amplitudinile. Cauza principală o constituie prezenţa materialului argilos în colectoare.

Pentru a determina valoarea potenţialului spontan înregistrat, se va măsura distanţa de la linia marnelor pînă în punctul de maxim al amplitudinii curbei de P.S. în centimetri sau diviziuni (funcţie de scară). Această distanţă înmulţită cu scara va da valoarea lui ΔE_{PS} în dreptul stratului respectiv.

CAPITOLUL III

CAROTAJUL ELECTRIC

In forma actuală, carotajul electric cuprinde o serie de metode elaborate din necesitatea de a extinde domeniul de aplicabilitate al acestuia.

Tinînd seama de fenomenul de invazie, metodele de rezistivitate se adresează fie unor microvolume, respectiv mediului apropiat în imediata vecinătate a peretelui sondei, cum sînt: turta de noroi şi subzona spălată, fie unor macrovolume, cuprinzînd mediul mai depărtat, respectiv zona necontaminată şi/sau zona de invazie cu subzona de tranziţie.

In mod corespunzător sînt utilizate următoarele metode de investigare:

a) metode cu macrodispozitive
- carotajul electric standard
- carotajul electric special
- carotajul electric lateral
- carotajul electric cu curenţi focalizaţi (laterolog)
- carotajul electric cu curenţi de inducţie (c.inductiv)

b) metode cu microdispozitive
- microcarotajul electric convenţional (standard)
- microcarotajul electric focalizat (microlaterolog)
- carotajul de proximitate focalizat (proximity-log)

c) dispozitivele de mai sus pot fi utilizate în combinaţii, cum sînt:
- dispozitivul dual-laterolog
- dispozitivul dual-inducţie-laterolog
- dispozitivul de microcarotaj şi microlaterolog sau proximity-log combinat cu cavernometria.

Aplicaţiile metodelor de rezistivitate, condiţiile optime şi limitările fiecărei metode sînt redate în tabelul 3.

Tabelul nr.3

Metoda	Aplicaţie	Condiţii optime	Limitări	Condiţii geologice optime	Interpretare
1	2	3	4	5	6
A.MACRODISPOZITIVE 1.CAROTAJ ELECTRIC STANDARD 1' CAROTAJ ELECTRIC SPECIAL	-Corelare geologică -Determinarea limitelor stratelor şi a grosimii aparente -Estimarea preliminară a conţinutului colectorului şi limitelor dintre fluide	Noroi dulce Grosimi de strat $h > 2$ m	Strate subţiri Strate rezistive Invazie adîncă Valori mici ρ_n (noroi sărat) Roci cu conţinut de argilă Nu poate fi utilizată în noroi neconductiv	Succesiuni marnoase nisipoase de grosime acceptabilă Roci carbonatate cu porozitate intergranulară cu $m \geqslant 10$ %	-Calitativă
2.CAROTAJ ELECTRIC LATERAL-METODA (Determinarea rezistivităţii rocilor) DRR	-Aprecierea conţinutului colectorului -Determinarea parametrilor: ρ_R, ρ_i, D_i	Noroi dulce Grosimi de strat $h > 2$ m	Idem	Idem	Calitativă şi semicantitativă -In anumite cazuri şi cantitativă
3.CAROTAJ ELECTRIC FOCALIZAT (Laterolog - LL) a)Laterolog-7 (LL-7)	-Determinarea parametrului rezistivitate reală, ρ_R -Corelare geologică (în fluide de foraj mineralizate)	Strate rezistive Grosimi de strat $h > 0,5-1$ m	Invazii adînci	Roci carbonatate cu rezistivităţi mari, $m < 10$ % Fluide de foraj mineralizate	Cantitativă -Determinarea ρ_R cu corecţia efectului găurii de sondă -Corecţia ρ_{io}
b)Laterolog-3 (LL-3)	Idem	Strate subţiri $h \approx 0,4$ m Valori ρ_R medii	Valori mari ρ_R Invazii adînci	Idem	Idem
c)Dual laterolog (DL)	-Determin.rezistiv. reale ρ_R şi a diametrului zonei de invazie Di -Evaluarea calitativă a colectorului	Strate rezistive grosimii de strat $h > 0,5-1$ m Invazii adînci		Roci carbonatate cu rezistivităţi mari $m < 10$ % *Fluide de foraj mineralizate.* *Precizie mărită a determinării parametrului ρ_R*	Cantitativă Determin. ρ_R cu corecţia efectului găurii *de sondă sau corecţia ρ_{io}*

	1	2	3	4	5	6
B.CAROTAJ ELECTRIC DE INDUCȚIE	a)Electric inductiv	-Corelare geologică -Aprecierea conținutului colectorului -Determinarea limitei apă/petrol -Determinarea parametrului rezistivitate reală	Valori ρ_R mici Grosimi medii $h > 1,6$ m Invazii adînci	Valori mari ρ_R Efect strate subțiri	Succesiuni marnoase-nisipoase Nisipuri argiloase $\rho_R \leq 100$ ohm.m Noroaie neconductive (fluide negre)	Cantitativă Determinarea ρ_R
	b)Dual-inducție-laterolog	-Determin.rezistivității reale ρ_R și a diametrului de invazie, D_i -Determin.limitelor de contact apă/petrol,apă/gaz. -Evaluarea calitativă a colectorului	Valori ρ_R mici Invazii adînci Grosimi de strat mai mici $h \cong 0,8$ m	Valori mari ρ_R	Idem	-Cantitativă -Determinarea ρ_R și D_i cu corecția ρ_{io}
B.MICRODISPOZITIVE 1.MICROCAROTAJ STANDARD (cuplat cu CAVERNOMETRIE) MC		-Separarea intervalelor poroase permeabile. -Determinarea limitelor stratelor și grosimii efective a acestora -Determinarea rezistivității subzonei spălate "ρ_{io}"	Strate cu invazie Turtă de noroi $h_{tn} < 1$ in	ρ_{io} estimativ Efectul turtei de noroi	Succesiuni-marnoase nisipoase Noroaie dulci	Calitativă și cantitativă -Determinarea ρ_{io}
2.MICROCAROTAJ FOCALIZAT	a)Microlaterolog (cuplat cu cavernometrie) MLL	Idem	Strate cu invazie Turtă de noroi $h_{tn} < 1/4$ in	Efectul turtei Efectul rugozității peretelui găurii de sondă	Roci carbonatate $5\% < m < 20\%$ Noroaie mineralizate	Calitativă și cantitativă -Determinarea ρ_{io}
	b)Proximitylog (cuplat cu cavernometrie) PL	Idem	Strate cu invazie Turtă de noroi $h_{tn} < 1\ 1/2$ in	Efect.turtei Efectul rugozității	Roci nisipoase Roci carbonatate $5\% < m < 30\ \%$ Noroaie dulci și mineralizate	-Calitativă și cantitativă -Determinarea ρ_{io}
3.Dispozitive combinate MC + MLL sau MC + PL			Idem pct.1 și 2			

3.1. Carotajul electric standard

Carotajul electric standard, constă în măsurarea rezistivității aparente a rocilor folosind un dispozitiv potențial și un dispozitiv gradient. Dispozitivele utilizate sînt standardizate, de unde și denumirea de "carotaj electric standard" ale căror caracteristici sînt redate în tabelul 4.

Tabelul 4

Dispozitivul (simbol)	Tipul dispozitivului	Lungimea dispozit. (m)	Raza de investigație (m)	Scara ohmică Ωm/cm	Scara adîncimilor	Scara P.S. mV/cm	Obs.
Ao,3M2N (Mo,3A2B)	Potențial direct (reciproc)	L_p=0,3	r_{ip}= 0,6	2,5	1:1000	-	
No,3M2A (Bo,3A2M)	Gradient direct (reciproc)	L_g=2,15	r_{ig}= 2,15	2,5	1:1000	-	
Ao,5M5N (Mo,5A5B)	Potențial direct (reciproc)	L_p=0,5	r_{ip}= 1	1,25	1:1000	-	Dispozitiv pentru sare
NO,5N5A (Bo,5A5M)	Gradient direct (reciproc)	L_g=5,25	r_{ig}=5,25	0,5	1:1000	-	
P.S.	-	-	-	-	1:1000	12,5 mV/cm	In cazul disp.pt. sare n_{PS}=5 mV/cm

Schemele principiale de măsură sînt reprezentate în figura 12a,b,c,d. In aceste scheme se disting:

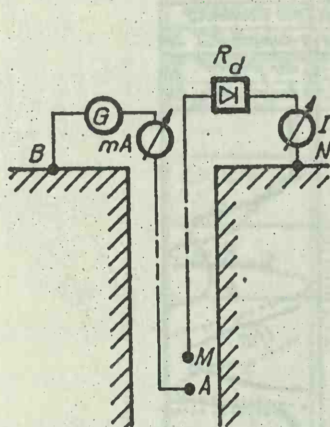
- un circuit de alimentare alcătuit dintr-un generator de curent G, un aparat de măsură a curentului mA și electrozii de alimentare A și B;
- un circuit de măsură alcătuit din electrozii M și N, un dispozitiv de redresare a semnalului R_d și un aparat înregistrator I.

Aceste scheme permit înregistrarea curbelor de variație a rezistivității aparente în funcție de adîncime. Profilul electric standard fiind compus din următoarele curbe:

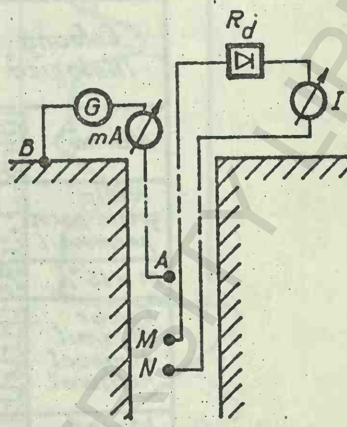
- o curbă de P.S. (înscrisă pe trasa din stînga a diagramei)

- o curbă de rezistivitate înregistrată cu dispozitiv potențial - $\rho_{0,3}$ *)

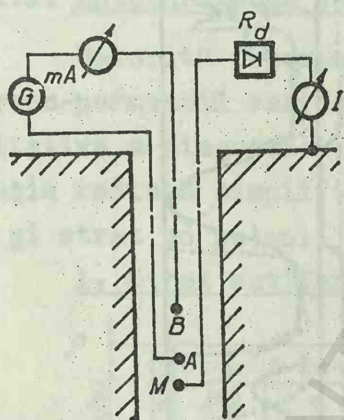
- o curbă de rezistivitate înregistrată cu dispozitiv gradient - $\rho_{2,15}$ *)



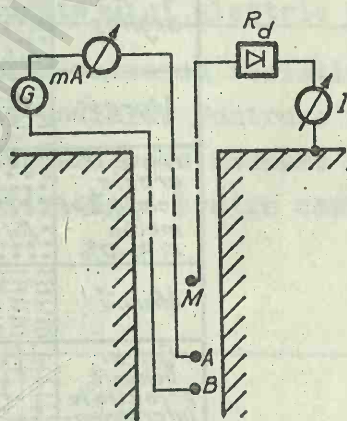
a - cu dispozitiv potențial ideal



b - cu dispozitiv gradient direct



c - cu dispozitiv potențial reciproc



d - cu dispozitiv gradient reciproc

Fig.12. Scheme principiale de măsură: G - generator de curent; mA - aparat de măsură a curentului; R_d - dispozitiv de redresare a semnalului; I - aparat de înregistrare. (după A. Neguț)

Cele două curbe de rezistivitate sînt înscrise pe trasa din dreapta diagramei.

---

*- indicele lui "ρ" reprezintă lungimea dispozitivului.

Un carotaj electric standard este redat în fig.13 a şi b şi anexa B_1; B_3.

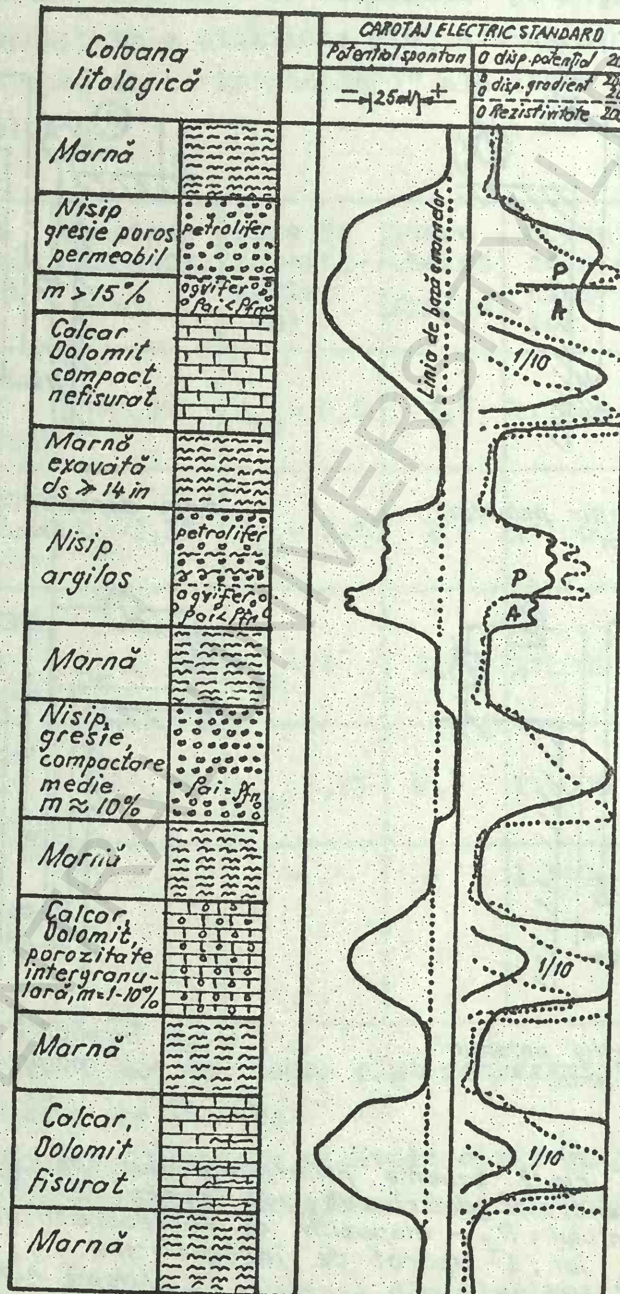


Fig.13a

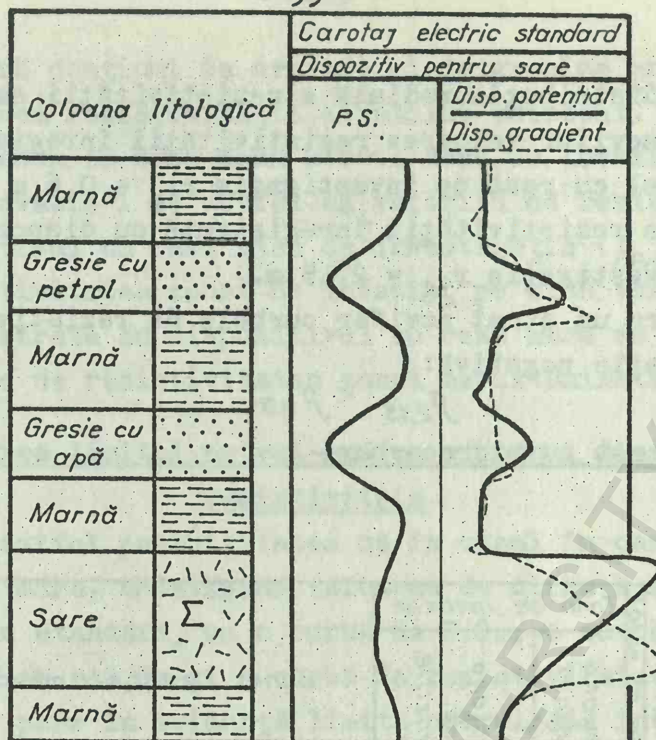


Fig.13b

3.1.1. Interpretarea calitativă a carotajului electric standard

Datorită fenomenului de invazie valoarea rezistivităţii stratului poros-permeabil variază în direcţie radială. Pentru o interpretare cantitativă a diagrafiei electrice standard este necesar să reluăm distribuţia radială simplificată a rezistivităţii pentru cazurile: strat acvifer şi strat cu petrol.

1. Strat acvifer

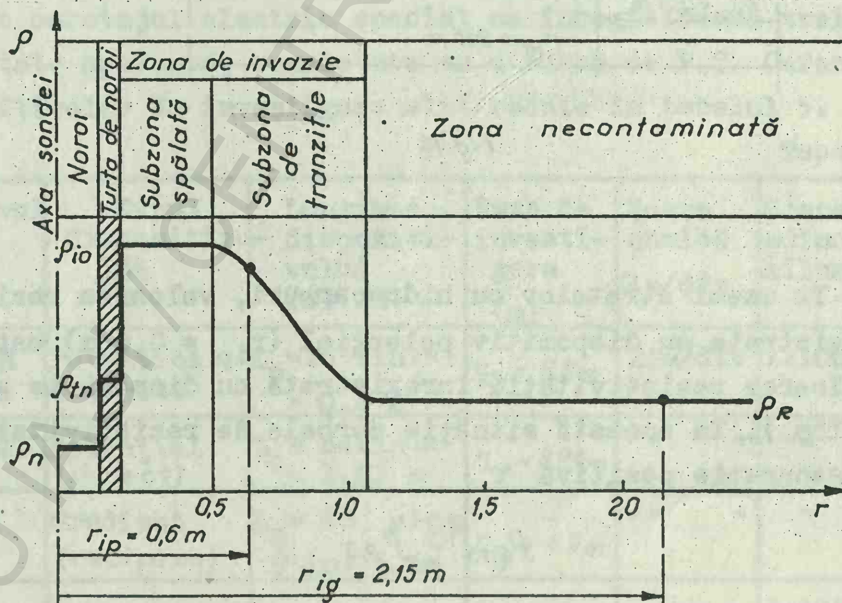


Fig.14

Din distribuţia radială a rezistivităţii se observă că pentru un strat acvifer valoarea rezistivităţii înregistrate cu dispozitiv potenţial cu rază de investigaţie r_{ip} = 0,6 m este mai mare decît valoarea rezistivităţii înregistrată cu dispozitiv gradient cu raza de investigaţie r_{ig} = 2,15 m.

Pentru un strat acvifer curbele de rezistivitate vor prezenta o separaţie negativă:

$$\rho_{2,15} < \rho_{0,3}$$

2. Strat cu hidrocarburi

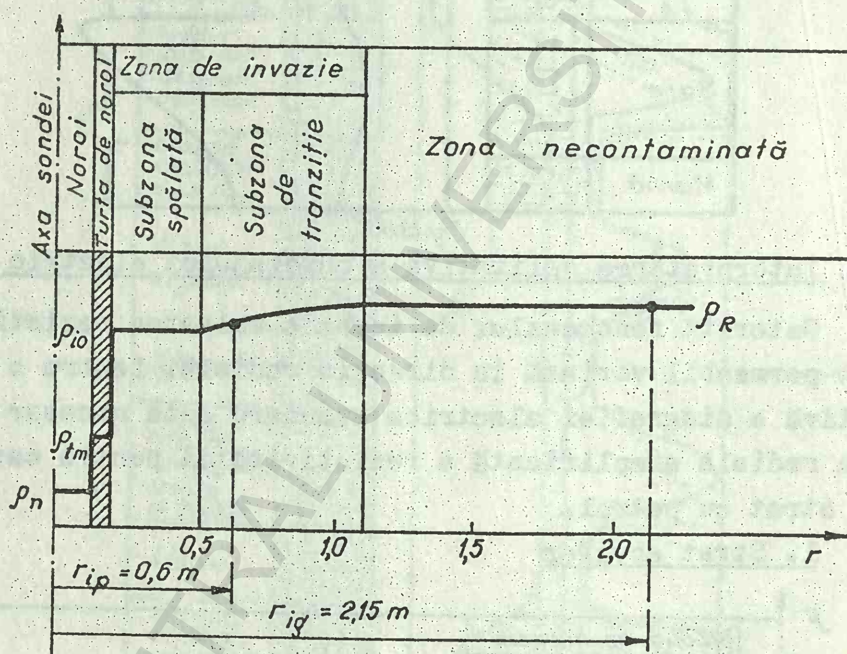


Fig. 15

In cazul stratelor cu hidrocarburi, valoarea rezistivităţii înregistrate cu dispozitiv potenţial (r_{ip} = 0,6 m) este mai mică decît valoarea rezistivităţii înregistrată cu dispozitiv gradient (r_{ig}= 2,15m). In această situaţie curbele de rezistivitate vor prezenta o separaţie pozitivă

$$\rho_{2,15} > \rho_{0,3}$$

In cele două cazuri prezentate mai sus s-a considerat un

strat curat (fără conţinut de argilă) şi de grosime mare în care nu intervine valoarea rezistivităţii stratului adiacent.

De asemenea în cele două strate zona de invazie nu este mare (diametrul de invazie≃1 m) astfel că valorile de rezistivitate măsurate cu dispozitivul cu rază mică de investigaţie ($\rho_{0,3}$) sînt determinate de rezistivitatea zonei de invazie, pe cînd valorile de rezistivitate înregistrate cu dispozitivul cu rază mare de investigaţie sînt determinate de rezistivitatea zonei necontaminate.

3.1.2. Determinarea limitei petrol-apă cu ajutorul diagrafiei de rezistivitate

Există astfel posibilitatea ca în cazul în care diametrul de invazie nu este mare, nedepăşind valoarea de circa 1 m, diagrafia de carotaj electric standard, cu o curbă de P.S., o curbă de rezistivitate potenţială AM = 0,3m şi o curbă de rezistivitate gradientă AO= 2,15m poate pune în evidenţă limita petrol/apă într-un colector (fig.13.a); zona acviferă va fi reprezentată prin valori mici ale rezistivităţii pe curba gradientă, în timp ce zona petroliferă - prin valori crescute în raport cu valorile de rezistivitate înregistrate cu dispozitiv potenţial. Intre cele două zone, apare zona de tranziţie reprezentată printr-o variaţie lineară a curbei de rezistivitate gradientă (gradient de rezistivitate).

3.2. Carotajul electric special

In carotajul electric special se înregistrează trei curbe de rezistivitate aparentă, completate cu o curbă de P.S. Caracteristicile dispozitivelor de investigare sînt redate în tabelul 5.

Tabelul 5

Dispozitivul (simbol)	Tipul dispozitivului	Lungimea dispozitivului (m)(in)	Raza de investigare (m)	Scara ohmică Ωm/div	Scara adîncimilor	Scara P.S. mV/div
A16M68,6N	Potenţial (direct)	L_p=16 (in)= = 0,4 m	r_{ivg} = 0,8m	2Ωm/div	1:1000	-
A64M68,8N	Potenţial (direct)	L_p= 64(in)= = 1,62 m	r_{ivg} = 3,24m	" "	"	-
A26B224M	Gradient (reciproc)	L_g= 18 pic şi 8 in= 5,6m	r_{ivg} = 5,6m	" "	"	-
P.S.	-	-	-	-	1:1000 1:200	n_{PS}= 10 mV/div

Întrucît punctele de raportare a valorii rezistivității măsurate sînt diferite pentru dispozitivele menționate, în aparatura de suprafață există un panou special care aduce valorile măsurate la același nivel de referință, de regulă la nivelul electrodului M_1.

O diagramă de carotaj electric special este redată în anexa nr.B_2.

Carotajul electric special oferă rezolvarea principalelor probleme puse carotajului electric standard printre care: delimitarea stratelor poroase permeabile, aprecierea calitativă a naturii fluidelor conținute, corelare geologică etc. Schema principială de măsură este redată în fig.16.

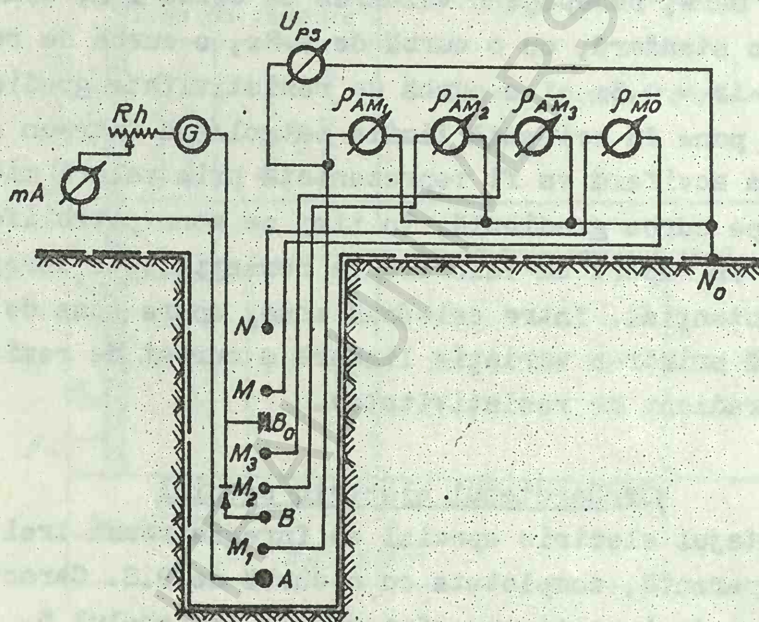


Fig.16. Schema principială de măsură pentru înregistrarea simultană a 4 curbe de rezistivitate și o curbă de PS (după A.Neguț)

LUCRAREA NR. 1

CRITERII DE DETERMINARE A LIMITELOR SI GROSIMII STRATELOR POROASE PERMEABILE DIN CAROTAJUL ELECTRIC STANDARD

A. După curba de P.S.

Procedeele practice de determinare a grosimii şi limitelor stratelor după curbele de P.S. rezultă din distribuţia cîmpului electric natural creat de procesele electrochimice naturale ce dau naştere potenţialului spontan.

Amplitudinea anomaliei şi forma curbei de P.S. înregistrată în dreptul unui strat poros permeabil depinde de următorii factori care afectează distribuţia liniilor de curent şi căderile de potenţial în fiecare mediu traversat de curenţii de P.S.:

- potenţialul spontan static "E_{pss}";
- grosimea stratului "h";
- rezistivitatea reală a stratului "ρ_R";
- rezistivitatea "ρ_i" şi diametrul D_i al zonei invadate;
- rezistivitatea noroiului de foraj ρ_n şi diametrul sondei d;
- rezistivitatea formaţiunilor adiacente ρ_{ad};
- cantitatea de argilă conţinută în stratul considerat;
- natura litologică a stratelor poroase-permeabile.

Faţă de factorii menţionaţi mai sus, se evidenţiază următoarele cazuri:

A_1. Succesiuni nisipoase-grezoase în alternanţă cu marne şi argile impermeabile

$A_{1.1.}$ Strate de grosime mare $h \geq 4$ d

In dreptul stratelor a căror grosime depăşeşte de patru ori diametrul sondei, limitele stratului (H_{sup} - limita superioară şi H_{inf} - limita inferioară) se determină în punctele în care valoarea înregistrată a anomaliei de P.S. este egală cu jumătate din amplitudinea maximă - metoda jumătăţii amplitudinii ($\frac{1}{2}\Delta E_{PS}$) (fig.17)

Modul de lucru

1) Se trasează "linia marnelor" de-a lungul valorilor elec-

tropozitive.

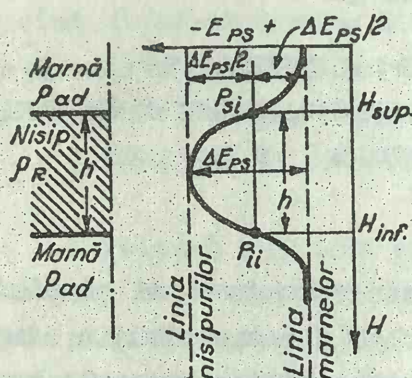


Fig. 17

2) Se determină amplitudinea maximă a anomaliei de P.S. - egală cu distanţa (în centimetrii sau diviziuni) dintre linia marnelor şi valoarea maximă electronegativă.

Această valoare înmulţită cu scara de înregistrare a P.S-ului dă valoarea maximă înregistrată în dreptul stratului în mV-ΔE_{PS}

3. La jumătate din valoarea maximă a PS-ului ($\frac{1}{2}\Delta E_{PS}$) se trasează o verticală care intersectează curba de P.S. în două puncte. Aceste puncte, proiectate pe scara adîncimilor determină:

- punctul superior de intersecţie, limita superioară a stratului - H_{sup}.

- punctul inferior de intersecţie, limita inferioară a stratului - H_{inf}.

- grosimea stratului va fi:

$$h = H_{inf} - H_{sup}$$

$A_{1.2.}$ Strate subţiri (h ≤ 4 d)

In acest caz limitele stratului şi grosimea se determină prin "metoda grosimii fictive".

1) Se determină grosimea fictivă a stratului "h_f" la fel ca în cazul stratelor groase (fig.18).

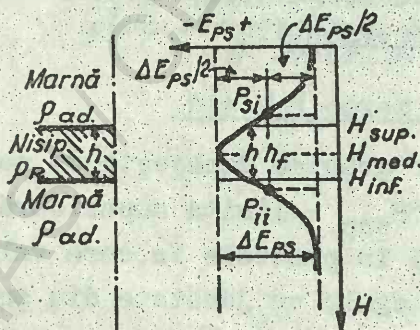


Fig. 18

2) Se calculează raportul h_f/d

3) Se calculează raportul ρ_R/ρ_n

4) Se introduce valoarea h_f/d în ordonata abacei nr. 3 şi se deplasează punctul obţinut orizontal pînă intersectează curba de modul calculat ρ_R/ρ_n (curba existentă sau obţinută prin interpolare).

5) Punctul de intersecţie obţinut se deplasează vertical în jos pînă la intersecţia cu axa absciselor, obţinîndu-se valoarea raportului h/d = N.

6) Grosimea stratului va fi:

$$h = N d$$

Plasarea limitelor stratului se face plecînd de la faptul că, configuraţia curbei de P.S. este simetrică; prin urmare, punctul în care se înregistrează valoarea maximă va fi plasat la mijlocul stratului. Se notează cu H_{med} adîncimea acestui punct (adîncimea medie a stratului).

Limitele stratului se vor afla la adîncimile :

$$\left.\begin{aligned} H_{sup.} &= H_{med.} - \frac{h}{2} \\ H_{inf.} &= H_{med.} + \frac{h}{2} \end{aligned}\right\} \quad (3.2)$$

Procedeul expus mai sus necesită cunoaşterea rezistivităţii reale "ρ_R" şi a rezistivităţii noroiului ρ_n. Valori exacte ale acestor parametri presupun existenţa unor curbe care să permită determinarea lui ρ_R şi măsurători ale rezistivităţii noroiului.

Rezultate bune se pot obţine folosind metoda $\frac{2}{3}\Delta E_{PS}$. Această metodă constă în determinarea grosimii şi limitelor stratelor poroase-permeabile la 2/3 din amplitudinea curbei de P.S. (fig.19).

Modul de determinare

1. Se trasează linia marnelor.
2. Se determină amplitudinea maximă a curbei de P.S.
3. La 2/3 din amplitudinea maximă (2/3 A_{max} de linia marnelor) se trasează o verticală care intersectează curba de P.S. în două puncte.

Distanţa măsurată în metri între cele două puncte de intersecţie reprezintă grosimea stratului "h".

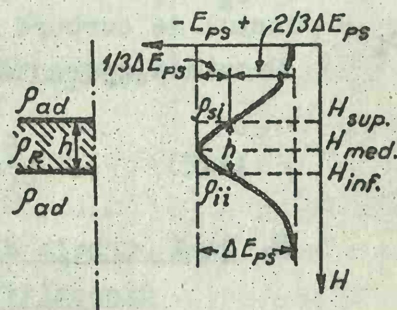


Fig. 19

4. Se determină adîncimea media a stratului - H_{med}.

Limitele stratului se determină cu relaţiile (3.2).

Observaţie. Pentru a putea compara grosimea stratului "h" cu diametrul sondei, pentru toate stratele (groase şi subţiri) se de-

termină mai întîi "h" la $1/2\,\Delta E_{PS}$. Această valoare se compară cu 4 d.

A.2. Succesiuni carbonatate

In succesiuni carbonatate: calcare, dolomite cu porozitate intergranulară şi/sau fisurate (porozitate secundară) cu zone compacte sau depozite hidrochimice, grosimea şi limitele stratelor poros-permeabile se determină astfel:

A.2.1. Strate groase

In zonele compacte curba de P.S. are o variaţie liniară. Limita dintre o zonă compactă şi una poroasă permeabilă este definită printr-o inflexiune convexă, c_x, în punctul de curbură maximă - H_{c_x} (fig.20).

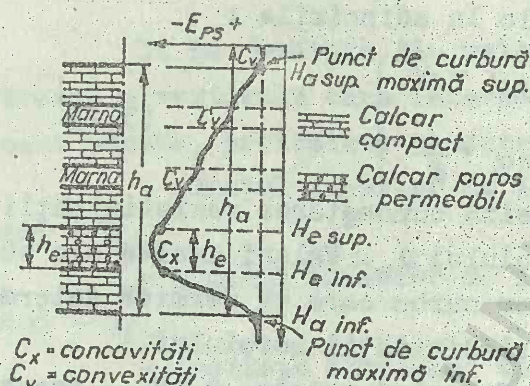


Fig.20

Limita dintre o zonă poroasă şi una impermeabilă (marnă, argilă) este definită printr-o inflexiune concavă c_v - în punctul de curbură maximă - H_c.

A.2.2. Strate subţiri

La succesiuni de strate subţiri compacte, poroase-permeabile şi impermeabile, limitele dintre diferite tipuri litologice sînt definite prin inflexiuni convexe şi concave.

Un pachet de strate este definit printr-o anomalie, care începe cu H_{c_s}, punctul de curbură maximă superior şi se termină cu H_{c_i} - punctul de curbură maximă inferior.

Grosimea aparentă a pachetului de strate este:

$$h_A = H_{c_i} - H_{c_s} \qquad (3.3)$$

B. După curbele de rezistivitate - înregistrate cu dispozitive potenţiale şi gradiente

Configuraţia curbelor reale de rezistivitate aparentă depinde de tipul dispozitivului, de rezistivitatea şi grosimea stratului şi de raportul dintre grosimea stratelor şi lungimea dispozitivelor utilizate.

B.1. Determinarea grosimii şi plasarea limitelor stratului după curbele de rezistivitate înregistrate cu dispozitiv gradient

Curbele de rezistivitate aparentă înregistrate cu dispozitiv gradient sînt asimetrice în raport cu planul median al stratului. Pentru determinarea grosimii stratului poros-permeabil şi a limitelor acestuia se iau în considerare punctele caracteristice de pe curbă a căror poziţie în raport cu limitele stratului este cunoscută. In funcţie de rezistivitatea stratului poros-permeabil se deosebesc:

B.1.1. <u>Rezistivitatea stratului poros-permeabil mai mare decît rezistivitatea stratelor adiacente ($\rho_R > \rho_{ad}$)</u>

In acest caz în funcţie de raportul dintre lungimea dispozitivului şi grosimea stratului se evidenţiază următoarele situaţii:

a) <u>Strat de grosime mare $h > \overline{MO}$ ($\overline{AO}$)</u>

Curba de rezistivitate aparentă prezintă următoarele puncte caracteristice (fig.21) :

- un punct de rezistivitate maximă ρ_{amax} căruia îi corespunde adîncimea H_{max};
- un punct de rezistivitate minimă ρ_{amin} căruia îi corespunde adîncimea H_{min}.

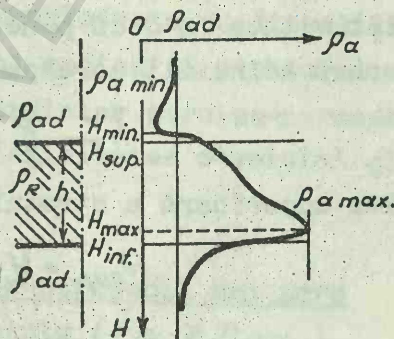


Fig. 21

Aceste două adîncimi H_{max} şi H_{min} sînt situate faţă de limitele stratului (H_{inf} - limita inferioară, H_{sup} - limita superioară) la o distanţă egală cu $\frac{MN}{2}$ respectiv $\frac{AB}{2}$. Limitele stratului se pot determina cu relaţiile

$$\left.\begin{aligned} H_{sup} &= H_{min} + \frac{1}{2}\overline{MN}\,(\overline{AB}) \\ H_{inf} &= H_{max} + \frac{1}{2}\overline{MN}\,(\overline{AB}) \end{aligned}\right\} \quad (3.4)$$

Grosimea stratului este dată de :

$$h = H_{inf} - H_{sup} = H_{max} - H_{min}$$

b) <u>Strat de grosime mică $h \leq \overline{AO}$ ($\overline{MO}$)</u>

Pentru strate subţiri curba de rezistivitate aparentă prezintă următoarele puncte caracteristice (fig.22):

- un punct de rezistivitate maximă ρ_{amax}
- un punct de maxim ecranat $\rho_{a_{me}}$ căruia îi corespunde adînci-

mea H_{me}.

Limita inferioară a stratului H_{inf} se găsește la o distanță egală cu lungimea dispozitivului față de H_{me}, deci

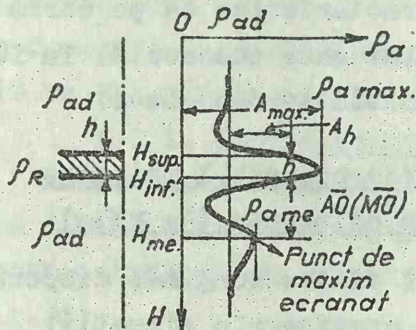


Fig. 22

$$H_{inf} = H_{me} - \overline{AO}\,(\overline{MO}) \qquad (3.5)$$

Pentru determinarea grosimii stratului se procedează astfel:

Se împarte în trei părți egale distanța dintre linia de zero a rezistivității și $\rho_{a\,max}$, distanță care este egală cu amplitudinea maximă a curbei de rezistivitate A_{max}. La 2/3 A_{max} de la linia de zero se trasează o verticală care va intersecta curba de rezistivitate în două puncte. Distanța dintre aceste puncte măsurată pe scara adîncimii corespunde grosimii stratului

$$h \rightarrow \frac{2}{3} A_{max}$$

Limita superioară a stratului va fi (3.6)

$$H_{sup} = H_{inf} - h$$

B.1.2. <u>Rezistivitatea stratului poros-permeabil mai mică decît rezistivitatea stratelor adiacente</u> $\rho_R < \rho_{ad}$

In acest caz modul de determinare este același atît pentru strate de grosime mare ($h > \overline{MO}(\overline{AO})$) cît și pentru strate de grosime mică ($h < \overline{MO}\ (\overline{AO})$).

Pe curba de rezistivitate aparentă se pun în evidență două puncte caracteristice și anume $\rho_{a\,max}$ și $\rho_{a\,min}$ (fig.23) cărora le corespunde adîncimile H_{max} și H_{min}. Aceste adîncimi sînt situate față de limitele stratului la distanțe egale cu $\frac{\overline{MN}}{2}$ $(\frac{\overline{AB}}{2})$.

Limita superioară a stratului va fi egală cu :

$$H_{sup} = H_{min} - \frac{1}{2}\overline{MN}\,(\overline{AB})$$

iar limita inferioară (3.7)

$$H_{inf} = H_{max} - \frac{1}{2}\overline{MN}\,(\overline{AB})$$

Grosimea stratului este :

$$h = H_{inf} - H_{sup} = H_{max} - H_{min}$$

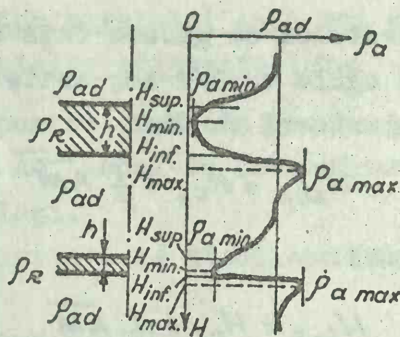


Fig. 23

B.2. Determinarea grosimii şi a limitelor stratului poros-permeabil după curbele de rezistivitate înregistrate cu dispozitiv potenţial

Curbele de rezistivitate aparentă înregistrate cu dispozitive potenţiale sînt simetrice în raport cu planul median al stratului. Pentru determinarea limitelor şi a grosimii stratelor poroase-permeabile se deosebesc două cazuri în funcţie de rezistivitatea stratului şi anume:

B.2.1. Rezistivitatea stratului poros-permeabil mai mare decît rezistivitatea stratelor adiacente ($\rho_R > \rho_{ad}$)

Configuraţia curbelor de rezistivitate este dependentă de raportul dintre lungimea dispozitivului şi grosimea stratului. Procedeele de determinare a limitelor şi grosimii stratului sînt în funcţie de acest raport, redate în cele ce urmează:

a) Strat de grosime mare h > 5 AM

Curba de rezistivitate prezintă următoarele puncte caracteristice (fig.24):

- un punct de curbură maximă superior, ρ_{c_s}, căruia îi corespunde adîncimea H_{c_s};

- un punct de curbură maximă inferior, ρ_{c_i}, căruia îi corespunde adîncimea H_{c_i}.

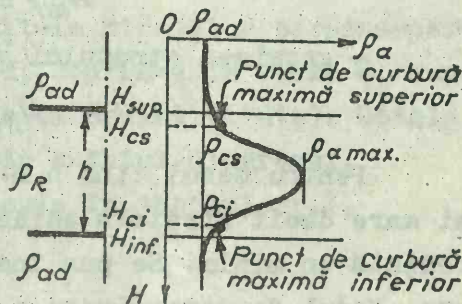


Fig. 24

Procedeul de determinare a limitelor stratului constă în:

- stabilirea punctelor de curbură maximă şi a adîncimilor co-

respunzătoare lor.

Limitele stratului se găsesc faţă de aceste adîncimi (H_{c_s} şi H_{c_i}) la o distanţă egală cu 1/2 AM, astfel că:

- limita superioară va fi:

$$H_{sup} = H_{c_s} - \frac{1}{2}\overline{AM}$$

iar limita inferioară:

$$H_{inf} = H_{c_i} + \frac{1}{2}\overline{AM} \quad (3.8)$$

Cunoscînd limitele stratului, grosimea lui este dată de:

$$h = H_{inf} - H_{sup} = H_{c_i} - H_{c_s} + \overline{AM}$$

b) <u>Strate de grosime mică $h < 5\,\overline{AM}$ şi $h \leq \overline{AM}$</u>

In acest caz curba de rezistivitate aparentă prezintă următoarele puncte caracteristice (fig.25):

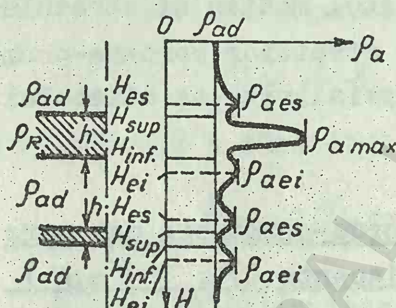


Fig. 25

- punctul superior de ecranare $\rho_{a_{es}}$ - căruia îi corespunde adîncimea H_{e_s}

- punctul inferior de ecranare $\rho_{a_{ei}}$ - căruia îi corespunde adîncimea H_{e_i}

Faţă de aceste puncte limitele stratului se găsesc la distanţa de 1/2 $\overline{AM}$, deci:

- limita superioară este:

$$H_{sup} = H_{e_s} + \frac{1}{2}\overline{AM}$$

- limita inferioară

$$H_{inf} = H_{e_i} - \frac{1}{2}\overline{AM} \quad (3.9)$$

- grosimea stratului va fi egală cu:

$$h = H_{inf} - H_{sup} = H_{e_i} - H_{e_s} - \overline{AM}$$

Pentru cazul cînd $h \leq \overline{AM}$, deşi stratul are o rezistivitate mai mare decît stratele adiacente, curba de rezistivitate aparentă prezintă un minim. Se pun însă în evidenţă cele două puncte de ecranare. Modul de determinare a grosimii şi limitelor stratului este identic cu cel prezentat mai sus, cînd grosimea stratului este cuprinsă între 5 $\overline{AM}$ şi $\overline{AM}$.

B.2.2. <u>Rezistivitatea stratului este mai mică decît rezistivitatea stratelor adiacente</u> ($\rho_R < \rho_{ad}$)

In acest caz atît pentru stratele groase $h > 5\ \overline{AM}$ cît şi pentru stratele subţiri $h < 5\ \overline{AM}$ modul de determinare al grosimii şi limitelor stratului este acelaşi.

Pe curba de rezistivitate se stabilesc următoarele puncte caracteristice (fig.26) :

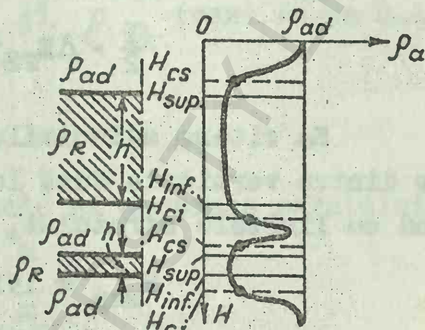


Fig. 26

- un punct de curbură maximă superior, căruia îi corespunde adîncimea H_{c_s};
- un punct de curbură maximă inferior, căruia îi corespunde adîncimea H_{c_i}.

Aceste puncte sînt deplasate faţă de limitele stratului cu distanţa 1/2 $\overline{AM}$, astfel că:

- limita superioară este egală cu :

$$H_{sup} = H_{c_s} + \frac{1}{2}\overline{AM}$$

- iar limita inferioară:

$$H_{inf} = H_{c_i} - \frac{1}{2}\overline{AM} \qquad (3.10)$$

Cunoscînd limitele, grosimea stratului este:

$$h = H_{inf} - H_{sup} = H_{c_i} - H_{c_s} - \overline{AM}$$

E X E R C I T I I

Să se determine grosimea şi limitele stratelor poroase-permeabile din diagrafia electrică standard, cuprinsă în anexa B_1 după cele trei curbe (curba de P.S şi curbele de rezistivitate). Datele necesare determinărilor, sînt înscrise în antetul diagramei.

Rezultatele obţinute se vor înscrie în tabelul nr.I.

<u>Exemplu</u>

<u>A) după curba de P.S.</u>

Din diagramă se citesc valorile:

- Scara adîncimilor - 1:200 (1 mm = 0,2 m)

- Scara P.S. - n = 12,5 mV/cm
- Diametrul sondei - d = 254 mm.
- Distanţa dintre linia marnelor şi punctul de maxim al amplitudinii curbei de P.S. - x = 5,9 cm.

Se calculează:

$$\Delta E_{PS} = - x\,[cm] \cdot n\,[mV/cm] = -5{,}9 \cdot 12{,}5 = -73{,}75\ mV$$

$$\frac{1}{2} \cdot \Delta E_{PS} = -36{,}8\ mV$$

Se citesc adîncimile corespunzătoare punctelor de intersecţie dintre verticala dusă la $1/2\,\Delta E_{PS}$ şi curba de P.S. care corespund cu limitele stratului, respectiv:

$$H_{sup} = 1511{,}4\ m$$

$$H_{inf} = 1514{,}11\ m$$

$$h = H_{inf} - H_{sup} = 2{,}7\ m$$

$$4d = 4 \cdot 254\ mm = 1016\ mm = 1{,}016\ m$$

$h > 4d$ (strat de grosime mare).

B) <u>după curba de rezistivitate înregistrată cu dispozitiv gradient</u> $-\rho_{2,15}$

- dispozitivul B 0,3 A 2 M ; $\overline{BA} = 0{,}3$ m; $\frac{1}{2}\,\overline{BA} = 0{,}15$ m; - OM = 2,15 m
- configuraţia curbei de rezistivitate corespunde unui strat gros.

Pe curba $\rho_{2,15}$ se fixează ρ_{min} şi ρ_{max} (vezi anexa B.1) şi se determină adîncimile corespunzătoare:

$$H_{min} = 1511{,}2\ m$$

$$H_{max} = 1513{,}9\ m$$

Conform relaţiilor (3.4) limitele şi grosimea stratului sînt:

$$H_{sup} = 1511{,}2 + 0{,}15 = 1511{,}35\ m$$

$$H_{inf} = 1513{,}9 + 0{,}15 = 1514{,}05\ m$$

$$h = 1514{,}05 - 1511{,}35 = 2{,}7\ m$$

$h > \overline{OM}$ (strat de grosime mare).

C) <u>după curba de rezistivitate înregistrată cu dispozitiv potențial</u> - $\rho_{o,3}$

- dispozitivul M o,3 A 2 B ; $\overline{MA}$ = 0,3 m; $\frac{1}{2}$ MA = 0,15 m; 5$\overline{MA}$= = 1,5 m ;

- configurația curbei de rezistivitate corespunde unui strat gros.

Pe curba $\rho_{o,3}$ se fixează ρ_{c_s} și ρ_{c_i} (vezi anexa B.1) și se determină adîncimile corespunzătoare:

H_{c_s} = 1511,6 m

H_{c_i} = 1513,9 m

Conform relațiilor (3.8) limitele și grosimea stratului sînt:

H_{sup} = 1511,6 - 0,15 = 1511,45 m

H_{inf} = 1513,9 + 0,15 = 1514,05 m

h = 2,6 m

h > 5$\overline{AM}$ (strat de grosime mare)

Tabelul I

Nr. strat	P.S.				Disp.gradient				
	ΔE_{PS}	H_{sup}	H_{inf}	h	H_{min}	H_{max}	H_{sup}	H_{inf}	h
	[mV]	[m]	[m]	[m]	H_{ei}	-	H_{sup}	H_{inf}	h
1	-74mV	1511,4	1514,1	2,7	1511,2	1513,9	1511,35	1514,o5	2,7

(continuare)

Nr. strat	Disp.potențial					Observații
	H_{c_s}	H_{c_i}	H_{sup}	H_{inf}	h	Strat de grosime mare
1	H_{e_s}	H_{e_i}	H_{sup}	H_{inf}	h	Strat de grosime mică
	1511,6	1513,9	1511,45	1514,05	2,6	Strat de grosime mare h > 4d; h > 5$\overline{MA}$, h > $\overline{OM}$

LUCRAREA NR. 2

DETERMINAREA REZISTIVITATII SI CONCENTRATIEI APEI DE ZACAMINT

1. Rezistivitatea apei de zăcămînt

Rezistivitatea apei de zăcămînt notată "ρ_{ai}" reprezintă un parametru de bază în interpretarea cantitativă a diagrafiei geofizice, în scopul evaluării conţinutului colectoarelor, prin determinarea coeficientului de saturaţie în apă (ecuaţia 1.22)

Apele de zăcămînt reprezintă soluţii electrolitice de săruri, între care predomină NaCl, dar se mai întîlnesc şi alte săruri, cum sînt Na_2SO_4, Na_2CO_3, $NaHSO_4$, $CaCO_3$, $Ca(HCO_3)_2$, $MgSO_4$, $MgCl_2$, KCl etc.

Concentraţia în săruri a apei de zăcămînt, notată cu C_{ai}, este determinată de cantitatea de săruri dizolvate şi se poate exprima în următoarele unităţi utilizate în practică:

- grame/litru [g/l], reprezentînd cantitatea de sare - în grame, conţinută într-un litru de soluţie;
- kilograme/vagon [kg/vag], reprezentînd cantitatea de sare - în kg, conţinută în 10.000 l de soluţie;
- grame/litru solvent [g/l solv.], reprezentînd cantitatea de sare, în grame, dizolvată într-un litru de solvent (apă);
- părţi per milion [p.p.m], reprezentînd cantitatea de sare în $\mu g = 10^{-6}$ g (sau în g) dizolvată într-un g (sau 10^6g) de soluţie.

Intre unităţile g/l , g/l .solv. şi p.p.m. se poate determina echivalenţa conform graficului din fig.27.

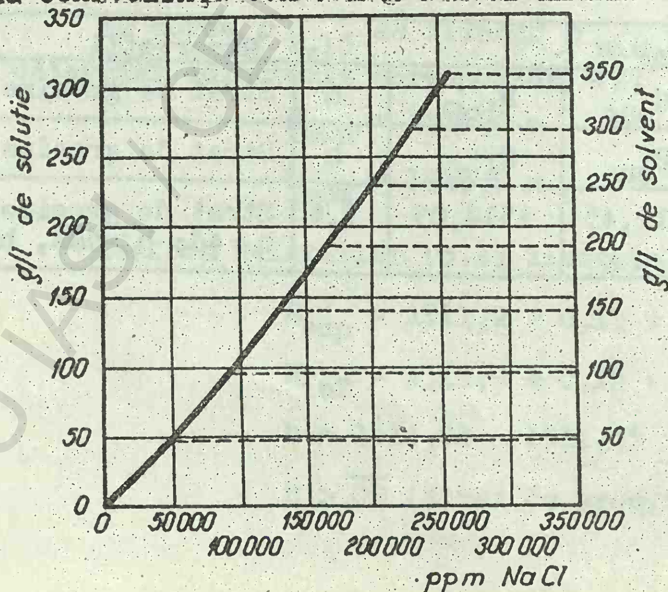


Fig.27. Grafic de echivalenţă între concentraţiile de NaCl în apa de zăcămînt exprimată în g/l soluţie, g/l solvent şi ppm (după Desbrandes).

Intre unităţile kg/vag şi g/l echivalenţa este: 1 kg/vag = = 10 g/l . In soluţii, moleculele sărurilor se disociază în cationi: Na^{+}, K^{+}, C^{++}, Mg^{++} etc. şi în anioni: Cl^{-}, SO_4^{--}, HCO_3^{--} etc. Prin deplasarea cationilor şi a anionilor, sub influenţa unui potenţial electric, are loc conducţia electrolitică a curentului electric prin soluţie. Cu cît cantitatea cationilor şi, respectiv a anionilor creşte, cu atît conducţia electrică este mai puternică.

Metoda practică de determinare a rezistivităţii şi concentraţiei apei de zăcămînt din diagrafia de P. S.

Pentru determinarea rezistivităţii apei de zăcămînt, în baza relaţiei (2.7) se utilizează curba de P.S. asociată unui carotaj electric, electric lateral-metoda D.R.R.etc.

Efectuarea lucrării se desfăşoară în următoarele etape:

a) Citirea valorilor parametrilor înscrişi în antetul diagramei:

- scara adîncimilor (1:1000, 1:500 sau 1:200),
- adîncimea maximă la talpa sondei, H_{max} (în m),
- temperatura maximă la talpa sondei, T_{max} (în °C),
- rezistivitatea noroiului la suprafaţă, respectiv la 18°C, $(\rho_n)_{18}$ (în Ωm); precum şi rezistivităţile filtratului de noroi, $(\rho_{fn})_{18^o}$ şi a turtei de noroi, $(\rho_{tn})_{18}$ - dacă sînt determinate;
- scara de măsură a curbei de P.S., "n_{PS}" (în mV/cm, sau mV/div. 1 div = 0,635 cm);
- scara de măsură a curbelor de rezistivitate aparentă, ρ_A, -n(in Ωm/cm);
- diametrul sondei, d, sau diametrul nominal al sapei d_n (în mm).

b) Alegerea unui strat poros-permeabil saturat cu apă de zăcămînt după următoarele criterii:

- "anomalie" electronegativă pe curba de P.S.;
- "separaţie" negativă pe curbele de rezistivitate aparentă:

$$\rho_{MO(AO)} \ll \rho_{A\overline{M}}$$

c) Determinarea limitelor stratului poros-permeabil ales, a grosimii şi a dîncimii medii a acestuia H_{sup}, H_{inf}, h, H_{med}:

- adîncimea medie a stratului $H_{med} = H_{sup} + \frac{h}{2}$ (în m).

d) Determinarea valorii potenţialului spontan înregistrat, ΔE_{PS} :

- pentru "anomalia" electronegativă

$$\Delta E_{PS} = - X \text{ (cm sau div.)} : n_{PS} \text{ (mV/cm sau mV/div.)}$$

e) Determinarea temperaturii formaţiei, T:

1) dacă se cunoaşte temperatura maximă (la talpa sondei), T_{max}

- temperatura creşte proporţional cu adîncimea (fig.28), începînd de la temperatura medie anuală a solului de 15°C;

- la adîncimea medie a stratului H_{med} se poate scrie:

$$\frac{T-15°}{T_{max}-15°} = \frac{H_{med.}}{H_{max.}}$$

de unde

$$T = \frac{H_{med.}}{H_{max}} (T_{max} - 15°) + 15° \quad [°C] \qquad (3.11)$$

2) dacă nu se cunoaşte temperatura maximală, dar se cunoaşte gradientul geotermic (după hărţile gradienţilor geotermici) :

- gradientul geotermic reprezintă variaţia de temperatură cu adîncimea

$$G_t = \frac{\Delta T}{\Delta H} \quad [\text{în } °C/100\,m] \qquad (3.12)$$

- temperatura la adîncimea H_{med}, în raport cu temperatura medie anuală a solului de 15°C:

$$T = H_{med.} \frac{G_t}{100} + 15° \quad [°C] \qquad (3.13)$$

Observaţie: în caz că nu se cunoaşte gradientul geotermic al zonei respective, acesta poate fi estimat cu valoarea medie a acestuia:

$$G_t = 3{,}33 \; °C/100\,m \qquad (3.14)$$

f) Determinarea rezistivităţii filtratului de noroi la suprafaţă

$(\rho_{fn})_{18}$ (dacă nu a fost determinată anterior și înscrisă în antetul diagramei) și corecția rezistivității noroiului și a filtratului de noroi pentru temperatura stratului, $(\rho_n)_T$ și $(\rho_{fn})_T$:

- rezistivitatea filtratului de noroi poate fi determinată din rezistivitatea noroiului pe baza relației

$$(\rho_{fn})_{18} = \eta(\rho_n)_{18} \qquad (3.15)$$

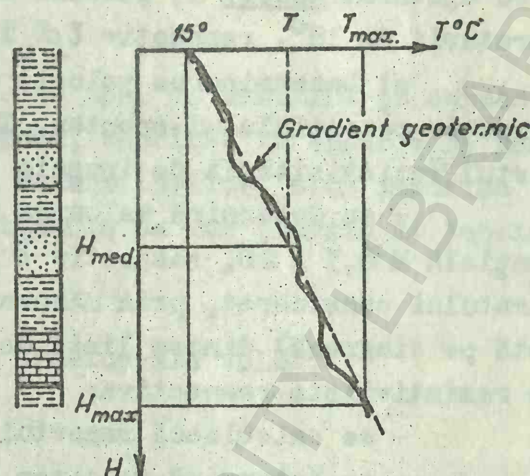


Fig.28 Termograma de sondă și coloana litologică

unde $\eta = f(\delta_n)$ este un coeficient care depinde de greutatea specifică a noroiului și se determină din graficul din figura 29. Intr-o primă aproximație se poate considera $\eta = 0,8$, deci $(\rho_{fn})_{18} = 0,8(\rho_n)_{18}$

- se determină valorile rezistivității noroiului $(\rho_n)_T$ și rezistivității filtratului de noroi $(\rho_{fn})_T$ la temperatura stratului $T°$

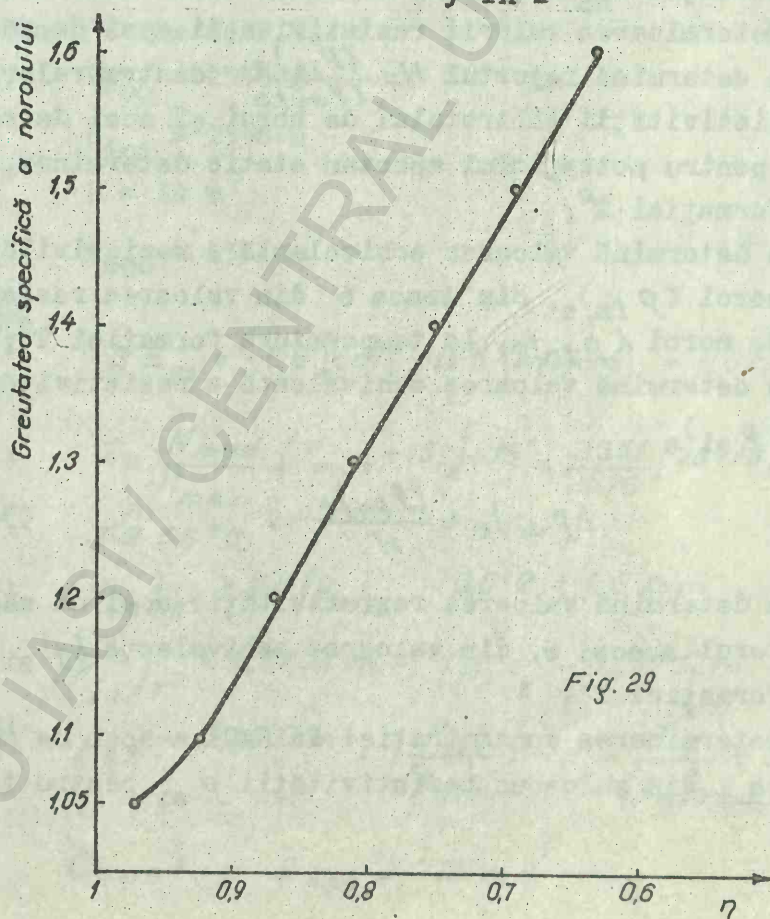


Fig.29

- cu ajutorul <u>Abacei</u> 1, plecînd de la valorile corespunzătoare temperaturii de 18°, respectiv $(\rho_n)_{18}$ şi $(\rho_{fn})_{18}$.

g) Determinarea valorii potenţialului spontan static, E_{PSS} corecţia potenţialului spontan, E_{PS} cu grosimea stratului, h, şi raportul rezistivităţii de invazie şi a noroiului, $\frac{\rho_i}{\rho_n}$:

- se determină valoarea rezistivităţii aparente pe curba potenţială M 0,3 A 2B, respectiv $\rho_{0,3} = \rho_{AM}$ (pt. AM = 0,3), în dreptul stratului considerat, prin măsurarea distanţei (la scara ohmică marcată pe diagramă) dintre linia de zero şi punctul de maxim al curbei de rezistivitate respective;

- se calculează raportul $\frac{\rho_{0,3}}{(\rho_n)_T}$;

- se determină valoarea raportului rezistivităţii zonei de invazie şi a noroiului $\frac{\rho_i}{(\rho_n)_T}$, cu ajutorul Nomogramei 10, pentru valoarea corespunzătoare a diametrului nominal al găurii de sondă, d_n;

- se determină factorul de corecţie C_{PS}, cu ajutorul Abacei 4 pentru raportul $\frac{\rho_i}{(\rho_n)_T}$ determinat şi grosimea h a stratului;

- se determină potenţialul spontan static, E_{PSS} din Nomograma 4 asociată Abacei 4, din valoarea potenţialului spontan E_{PS}, cu factorul de corecţie C_{PS} determinat.

h) Determinarea valorii rezistivităţii apei de zăcămînt, ρ_{ai}

- se determină raportul $N = \frac{(\rho_{fn})_e}{(\rho_{ai})_e}$ dintre valorile echivalente ale rezistivităţii filtratului de noroi şi apei de zăcămînt, din Abaca 5 pentru potenţialul spontan static determinat, E_{PSS} şi temperatura formaţiei T°;

- se determină valoarea echivalentă a rezistivităţii filtratului de noroi $(\rho_{fn})_e$, din Abaca 6 din valoarea rezistivităţii filtratului de noroi $(\rho_{fn})_T$, la temperatura formaţiei T°;

- se determină valoarea echivalentă a rezistivităţii apei de zăcămînt $(\rho_{ai})_e$

$$(\rho_{ai})_e = \frac{(\rho_{fn})_e}{N} \quad ; \qquad (3.16)$$

- se determină valoarea rezistivităţii apei de zăcămînt, ρ_{ai}, cu ajutorul Abacei 6, din valoarea echivalentă $(\rho_{ai})_e$, pentru temperatura formaţiei T°.

i) Determinarea concentraţiei în NaCl a apei de zăcămînt, C_{ai}, din <u>Abaca 1</u> din valoarea rezistivităţii ρ_{ai} pentru temperatura formaţiei T°.

EXERCIȚII

Să se determine rezistivitatea apei de zăcămînt și concentrația din diagrafia electrică standard, cuprinsă în anexa B.3, pentru stratele 1...7. Datele necesare determinărilor, sînt înscrise în antetul diagramei. Rezultatele obținute se vor înscrie în tabelul nr. II.

Exemplu

a) Din diagrafie se citesc următoarele valori:

Scara adîncimilor: 1:1000

$H_{max} = 2576$ m

$T_{max} = 75^oC$

$(\rho_n)_{18^o} = 2\Omega m$

$n_{PS} = 12,5$ mV/cm

$d_n = 311,2$ mm

b) Stratul nr.1 - anomalie electronegativă pe curba de P,S.

c) Determinarea limitelor, grosimii și adîncimii medii a stratului (după curba de P.S).

$H_{sup} = 2344$ m

$H_{inf} = 2358$ m

$h = 14$ m

$H_{med} = 2351$ m

d)

$$\Delta E_{PS} = -6,6\ [cm] \cdot 12,5\ [mV/cm] = -82,5\ mV$$

e)
$$T = \frac{H_{med}}{H_{max}}(T_{max} - 15^o) + 15^o = \frac{2351}{2576}(75-15)+15 = 55,8\ ^oC$$

$$T \cong 56\ ^oC$$

f)
$$(\rho_{fn})_{18^o} = 0,8(\rho_n)_{18^o} = 0,8 \cdot 2 = 1,6\ \Omega m$$

$$(\rho_{fn})_T = 0,77\ \Omega m\ ;\ (\rho_n)_T = 0,97\ \Omega m$$

g)
$$\rho_{0,3} = 3,00\ \Omega m\ ;\ \frac{\rho_{0,3}}{(\rho_n)_T} = 3,1\ ;\ \frac{\rho_i}{(\rho_n)_T} = 3,6$$

$$C_{PS} = 1\ ;\ E_{PSS} = -76\ mV$$

h) $N = \frac{(\rho_{fn})_e}{(\rho_{ai})_e} = 9,7$;

$(\rho_{fn})_e = 0,47\ \Omega m$

$(\rho_{ai})_e = \frac{(\rho_{fn})_e}{N} = \frac{0,47}{9,7} = 0,048\ \Omega m$

$\rho_{ai} = 0,045\ \Omega m$

i) $C_{ai} = 1000$ Kg sare /vag.

j) Rezultatele determinării rezistivității și concentrației apei de zăcămînt

Sonda X - C Adîncimea maximă $H_{max} = 2576$ m

Diametrul nominal al sapei $d_n = 311,2$ mm

Scara adîncimilor 1:1000

Temperatura maximă $T_{max} = 75\ ^oC$

Greutatea specifică a noroiului $\delta_n = 1,25\ g/cm^3$; η = ...

Rezistivitatea:-noroiului $\rho_n = 2\Omega/m$

-filtratului de noroi $\rho_{fn} = 1,6\ \Omega/m$

Scări de măsură: PS $n_{PS} = 12,5$ mV/cm; ρ_A n = 2,5 Ωm/cm

Tabelul nr. II

Nr.	Interval $H_s - H_i$ (m)	h (m)	H_m (m)	E_{PS} (mV)	T (°C)	$(\rho_n)_T$ (Ωm)	$(\rho_{fn})_T$ (Ωm)	$\rho_{0,3}$ Ωm	$\frac{\rho_{0,3}}{(\rho_n)_T}$	$\frac{\rho_i}{(\rho_n)_T}$	C_{PS}	E_{PSS} (mV)	$N=\frac{(\rho_{fn})_e}{(\rho_{ai})_e}$
1	2344-2358	14	2351	82,5	56	0,97	0,77	3	3,1	3,6	1	-76	9,7

(continuare)

Nr.	$(\rho_{fn})_e$ (Ωm)	$(\rho_{ai})_e$ (Ωm)	ρ_{ai} (Ωm)	C_{ai} (g/l) (Kg Σ/vag)
1	0,47	0,048	0,045	1000

3.3. Metode cu microdispozitive

Microdispozitivele sînt folosite pentru a măsura rezistivitatea unor volume mici de rocă din imediata apropiere a peretelui sondei. Avînd în vedere procesul de invazie în stratele poros-permeabile, măsurătorile efectuate cu microdispozitive se raportează la turta de noroi şi subzona spălată, mediu care oferă posibilitatea determinării unor parametrii de mare utilitate pentru caracterizarea formaţiunilor.

3.3.1. Microcarotajul electric convenţional

In microcarotaj, pentru măsurarea rezistivităţii se foloseşte acelaşi principiu ca şi în cazul metodelor electrice convenţionale (standard) cu macrodispozitive, exceptînd particularităţile constructive ale dispozitivului de investigare.

Particularitatea constă în faptul că cei trei electrozi A, M_1, M_2, sînt plasaţi pe o patină electroizolantă la o distanţă de 1 inch (0,025 m) unul de altul (fig.30.a). Dispozitivul conţine două patine, una pe care sînt plasaţi electrozii, cealaltă avînd rol de ghidaj. Cele două patine sînt menţinute presat pe peretele sondei cu ajutorul unui sistem de pîrghii şi resoarte, eliminînd în acest fel influenţa fluidului de foraj din gaura de sondă (fig. 33).

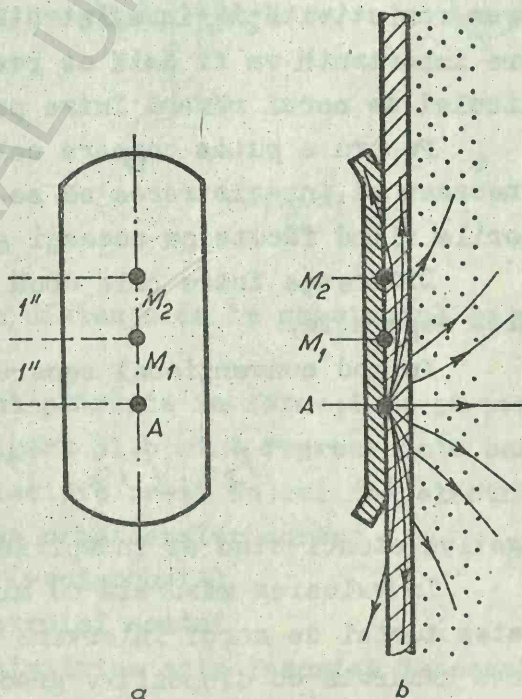


Fig. 30

Cercetarea formaţiunilor traversate de sondă se realizează cu ajutorul unui cîmp electric (fig.30 b) creat prin trimiterea unui curent de intensitate cunoscută prin electrodul de alimentare A. Diferenţa de potenţial între două puncte ale mediului, este măsurată cu doi electrozi de măsură M_1 şi M_2.

Cu această succesiune de trei electrozi se realizează două microdispozitive şi anume:

- un microdispozitiv potenţial ideal AM_2 - cu o lungime L_p = 2 in şi raza de investigaţie r_{ip} = 2 L_p = 4 inch≈0,1 m;

- un microdispozitiv gradient AM_1M_2 - cu o lungime L_g = 1 1/2 in. şi cu o rază de investigaţie r_{ig} = L_g = 0,0381 m.

Cu cele două dispozitive se înregistrează două curbe de rezistivitate:

- o curbă de rezistivitate înregistrată cu microdispozitivul potenţial AM_2 = 2 in (ρ_2 —— micropotenţiala de 2 in);

- o curbă de rezistivitate înregistrată cu microdispozitivul gradient $\overline{AO}$ = 2 1/2 in ($\rho_{1"x1"}$ ------ microinversa de 1"x1").

Cele două curbe de rezistivitate sînt înscrise pe prima coloană a trasei duble din partea dreaptă a diagrafiei. Scara ohmică este 1Ωm/div scara adîncimilor 1:200 (vezi anexa B.4)

Avînd în vedere raza de investigaţie a celor două microdispozitive, în valoarea măsurată cu microdispozitivul potenţial o pondere însemnată va avea rezistivitatea subzonei spălate, pe cînd în valoarea rezistivităţii înregistrată cu microdispozitiv gradient o pondere importantă va fi dată de rezistivitatea turtei de noroi şi a peliculei de noroi rămasă între patină şi peretele sondei.

Pentru a putea compara cele două valori de rezistivitate este necesar ca înregistrarea să se facă simultan, în acest fel măsurătorile fiind făcute pe aceeaşi generatoare a sondei.

Diferenţa între cele două valori de rezistivitate a fost denumită separaţie.

In mod convenţional separaţia se consideră pozitivă atunci cînd:

$$\rho_{2"} - \rho_{1"\times 1"} > 0 ,$$

şi negativă atunci cînd se îndeplineşte condiţia: $\rho_{2"} - \rho_{1"\times 1"} < 0$.

In valoarea măsurată cu microdispozitiv potenţial, rezistivitatea turtei de noroi intervine cu o pondere mai mică decît în valoarea măsurată cu dispozitiv gradient deoarece $r_{io} > r_{ig}$

Aşadar, în dreptul unui strat poros-permeabil $\rho_{2"} > \rho_{1"\times 1"}$ (separaţie pozitivă), iar în dreptul stratelor impermeabile (marne şi argile) $\rho_{2"} = \rho_{1"\times 1"}$.

Concomitent se înregistrează cavernograma, înscrisă pe trasa simplă din stînga diagramei.

3.3.2. <u>Microcarotajul cu curenţi focalizaţi (Microlaterologul - MLL)</u>

Principiul metodei este similar cu cel al carotajului cu curenţi focalizaţi realizat cu macrodispozitive, aşadar dispozitivul de microlaterolog implică un sistem de dirijare a fascicolului de curent.

Sistemul de electrozi este constituit dintr-un electrod central punctiform Ao, şi trei electrozi circulari M_1, M_2, A_1, concentrici cu Ao, montanţi pe o patină electroizolantă (fig.31.a).

Un curent de intensitate constantă I_0, alimentează electrodul central Ao. Electrodul A_1 se alimentează cu un curent de aceeaşi polaritate cu cel ce se trimite prin Ao, dar a cărui intensitate este reglată automat şi continuu, astfel încît diferenţa de potenţial între electrozii M_1 şi M_2 să fie egală cu zero. In acest fel, curentul care este emis prin electrodul central Ao, este împiedicat să se împrăştie din cauza pînzei de curent creată de electrodul circular A_1, creîndu-se astfel un fascicol de curent a cărui rază este egală cu distanţa de la electrodul Ao pînă la jumătatea distanţei M_1-M_2.

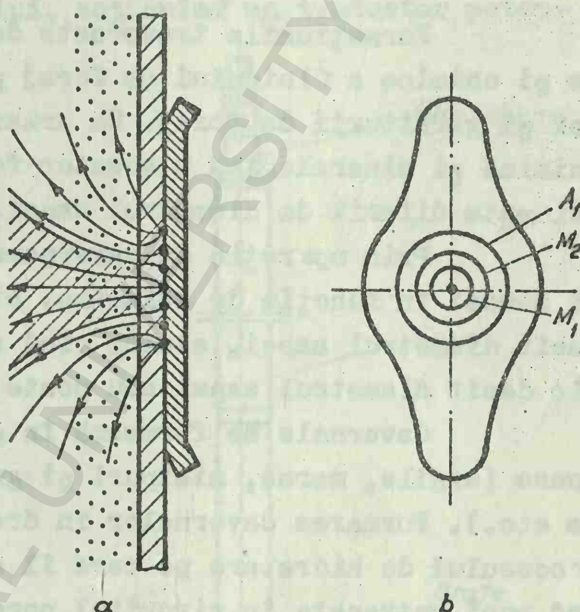


Fig. 31

Acest fascicol de curent pătrunde în formaţiune perpendicular pe axa găurii de sondă. In figura 31.b sînt reprezentate schematic liniile de curent ale cîmpului electric creat de cei doi electrozi. Acest dispozitiv permite obţinerea următoarelor curbe:

- curba rezistivităţii (reciprocata)
- curba variaţiei diametrului sondei

Se precizează că rezistivitatea este înscrisă la scară logaritmică. Scara adîncimilor 1:200. O astfel de diagramă este prezentată în anexa B5.

Prin sistemul de dirijare al fascicolului de curent, turta de noroi intervine cu o pondere mică în valoarea rezistivităţii măsurate, întrucît distanţa pe care o parcurge curentul prin turtă este

mică în comparaţie cu cea pe care o străbate în formaţiune.

Ca urmare a acestora se poate considera că măsurătorile efectuate cu acest dispozitiv se adresează direct subzonei spălate şi deci se pot determina parametrii: rezistivitatea subzonei spălate, factorul de formaţie şi porozitatea.

3.4. Cavernometria

Formaţiunile traversate de sonde sînt supuse acţiunii fizice şi chimice a fluidului de foraj precum şi acţiunii mecanice a sapei şi garniturii de foraj. Ca urmare, în funcţie de natura fizico-chimică şi mineralogică a acestor formaţiuni, diametrul real al sondei este diferit de diametrul sapei.

Prin operaţia de cavernometrie se stabileşte diametrul real al sondei în funcţie de adîncime. Diametrul sondei poate fi mai mare decît diametrul sapei, atunci cînd se formează caverne, poate fi mai mic decît diametrul sapei sau poate fi egal cu diametrul sapei.

Cavernele se formează în general în dreptul rocilor argiloase (argile, marne, nisipuri şi gresii argiloase, calcare argiloase etc.). Formarea cavernelor în dreptul acestor roci se datoreşte procesului de hidratare pe care îl suferă particulele de argilă, fiind apoi antrenate în circuitul noroiului. Acest proces de hidratare este în funcţie de natura mineralogică şi de forma de existenţă a argilei de aceea diametrul sondei este variabil şi în cadrul formaţiunilor argiloase. Diametre mari se întîlnesc şi în cazul stratelor de sare datorită procesului de dizolvare.

In dreptul formaţiunilor poroase-permeabile (nisipuri, gresii, calcare şi dolomite fisurate) diametrul sondei este în general mai mic decît diametrul sapei, datorită formării turtei de noroi a cărei grosime depinde de calitatea noroiului şi proprietăţile colectoarelor. Reducerea diametrului sondei se observă şi la traversarea stratelor de anhidrit, reducere ce are loc ca urmare a procesului de hidratare a anhidritului.

Rocile compacte care nu conţin material argilos sau conţin în cantitate foarte mică nu dau naştere la variaţii ale diametrului sondei.

Diametrul sondei se măsoară cu ajutorul unor dispozitive care poartă denumirea de cavernometre. Cele mai utilizate caverno-

metre sînt:

- <u>cavernometre cu brațe expandabile</u> (fig.32), cu o presiune mare de aplicare pe peretele sondei, turta de noroi fiind de regulă tăiată;

- <u>cavernometre cu patine</u> (fig.33), efectuate cu dispozitivul de microcarotaj, presiune pe patină este mică, astfel că patina urmărește destul de bine turta de noroi.

In timpul deplasării aparatului, deschiderea brațelor crește sau scade, după variațiile diametrului, acționînd un traductor poten-

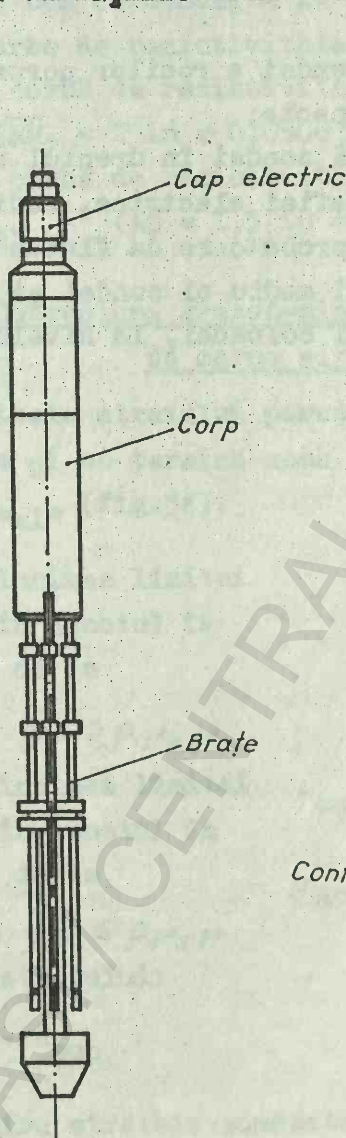


Fig. 32

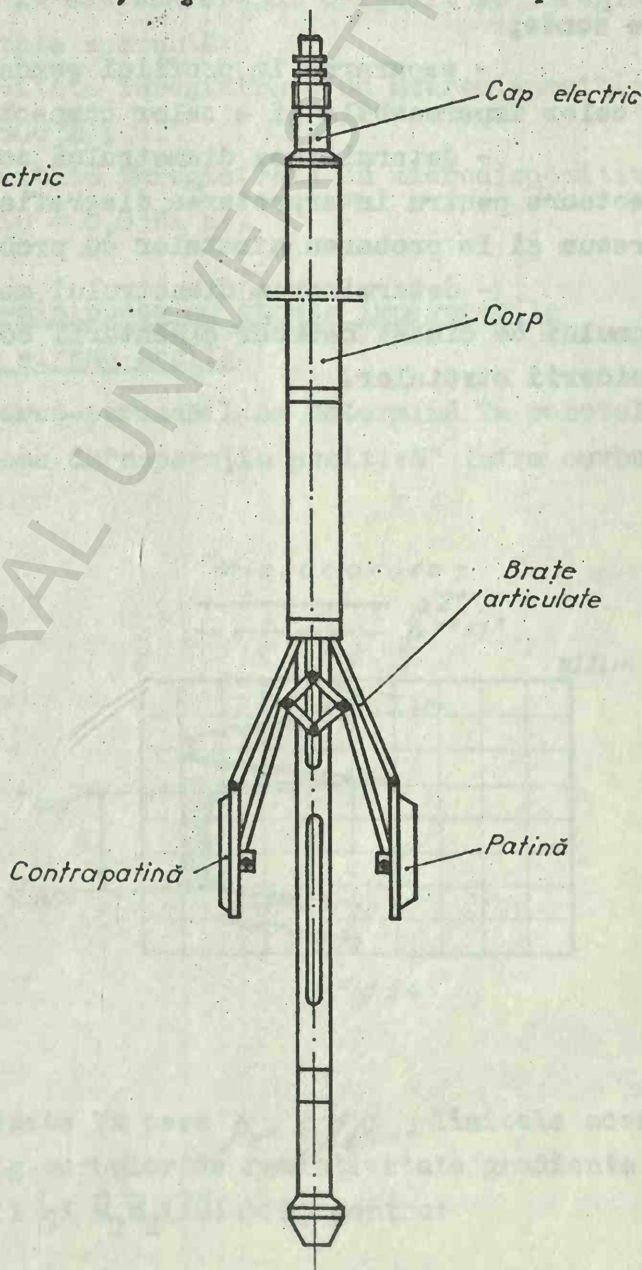


Fig. 33

ţiometric (rezistiv), care transformă variaţia deschiderii braţelor, în variaţii ale unei forţe electromotoare (tensiuni electrice). Aceasta este înregistrată la suprafaţă, prin intermediul unui fotoînregistrator, obţinînd diagrafia de cavernometrie - cavernograma - calibrată în inch (anexa B.4, B.5).

In şantier se utilizează frecvent cavernometre cu patru braţe expandabile şi cavernometre cu două braţe de tip patină.

Cavernometria rezolvă o serie de probleme cum ar fi:

- determinarea caracterului litologic al rocilor traversate de sonde;
- separarea în profilul sondei a rocilor poros-permeabile, a celor impermeabile şi a celor compacte;
- determinarea diametrului sondei în dreptul stratelor colectoare pentru interpretarea diagrafiei electrice, radioactive etc., precum şi la probarea stratelor cu probatoare de fluide sau de rocă;
- determinarea diametrului mediu al sondei şi calculul volumului de ciment necesar cimentării coloanei, la nivelul necesar închiderii stratelor.

LUCRAREA NR. 3

CRITERII DE DETERMINARE A LIMITELOR STRATELOR POROASE-PERMEABILE SI A GROSIMII EFECTIVE DUPA DIAGRAFIA ELECTRICA CU MICRODISPOZITIVE SI CAVERNOMETRIE

A. După curbele de rezistivitate aparentă înregistrate în microcarotaj

După cum se cunoaşte în microcarotajul obişnuit se înregistrează două curbe de rezistivitate aparentă:

- o curbă de rezistivitate înregistrată cu microdispozitivul potenţial $\rho_{2''}$ ($\overline{AM}_2$ = 2 in = 0,0508 m);
- o curbă de rezistivitate înregistrată cu microdispozitivul gradient $\rho_{1''x1''}$ ($\overline{AO}$ = 1,5 in = 0,0381 m).

a) Succesiuni grezos-nisipoase cu strate impermeabile de marne şi/sau argile

Limitele stratului poros-permeabil se determină în punctele în care începe şi se termină zona de "separaţie pozitivă" între curbele $\rho_{2''}$ şi $\rho_{1''x1''}$ (fig.34).

- H_{sup} - adîncimea limitei superioare - în punctul în care se trece de la $\rho_{2''} \leq \rho_{1''x1''}$ la $\rho_{2''} > \rho_{1''x1''}$
- H_{inf} - adîncimea limitei inferioare - în punctul în care se trece de la $\rho_{2''} > \rho_{1''x1''}$ la $\rho_{2''} \leq \rho_{1''x1''}$
- Grosimea stratului:

$$h = H_{inf} - H_{sup}$$

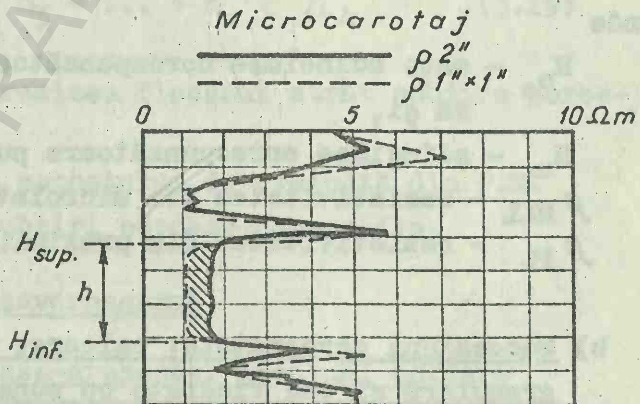


Fig. 34

Pentru stratele compacte la care $\rho_{2''} \leq \rho_{1''x1''}$ limitele acestora se determină în mod analog curbelor de rezistivitate gradiente şi potenţiale: întrucît $\overline{AM}_2 \ll 1$ şi $\overline{M_1M_2}(\overline{AB}) \ll 1$, pentru:

$$\rho_{2''} \quad - H_{sup} = H_{cs} \text{ şi } H_{inf} = H_{ci};$$

$$h = H_{inf} - H_{sup}$$

$$\rho_{1''\times 1''} \quad - H_{sup} = H_{min} \text{ şi } H_{inf} = H_{max}$$

$$h = H_{inf} - H_{sup}$$

b) In succesiuni carbonatate limitele stratului poros-permeabil se determină în acelaşi mod ca la succesiunile nisipoase/grezoase/marnoase.

B. După curbele de rezistivitate aparentă înregistrate cu microdispozitive focalizate

a) Succesiuni grezos-nisipoase cu strate impermeabile de marne şi/sau argile

Limitele stratelor poroase-permeabile sau compacte se determină în punctele de curbură maximă, în care ρ_{MLL} sau ρ_{PL} cresc, în raport cu valorile marnelor adiacente (fig.35):

$$\left.\begin{aligned} H_{sup} &= H_{c_s} \text{ şi } H_{inf} = H_{c_i} \\ h &= H_{inf} - H_{sup} = H_{c_i} - H_{c_s} \end{aligned}\right\} \quad (3.17)$$

unde

H_{c_s} - este adîncimea corespunzătoare punctului superior de curbură şi,

H_{c_i} - adîncimea corespunzătoare punctului inferior de curbură

ρ_{MLL} - rezistivitatea din microlaterolog (MLL)

ρ_{PL} - rezistivitatea din proximitylog (PL).

b) Succesiuni carbonatate: calcare, dolomite cu porozitate intergranulară şi/sau fisurate cu zone compacte

Limitele intervalelor poroase şi/sau fisurate se determină în punctele de curbură maximă, în care ρ_{MLL} sau ρ_{PL} scad, în raport cu valorile din dreptul zonelor compacte adiacente (fig.36).

$$\left.\begin{aligned} H_{sup} &= H_{c_s} \quad \text{şi} \quad H_{inf} = H_{c_i} \\ h &= H_{inf} - H_{sup} = H_{c_i} - H_{cs} \end{aligned}\right\} \quad (3.18)$$

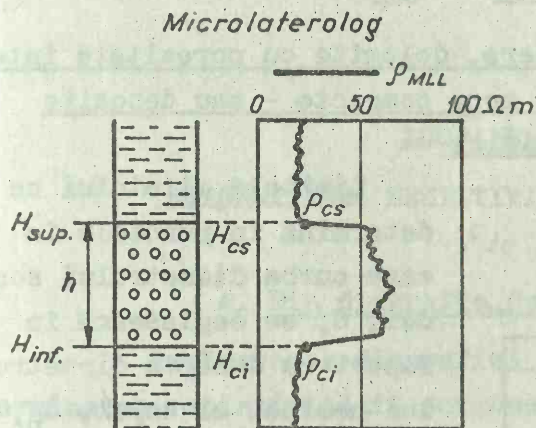


Fig. 35

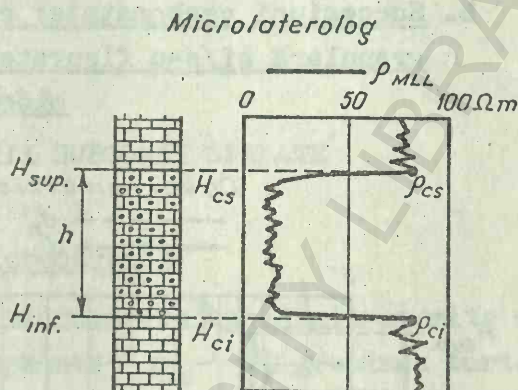


Fig. 36

unde: H_{c_s} şi H_{c_i} au semnificaţia de mai sus.

Observaţie. Pentru succesiuni de strate poroase-permeabile subţiri, cu intercalaţii subţiri impermeabile şi/sau compacte, se obţine "grosimea efectivă" a pachetului poros-permeabil:

$$h_{ef} = h_1 + h_2 + h_3 + \ldots + h_n < h_A \qquad (3.19)$$

unde: $h_1, h_2, h_3, \ldots, h_n$ este grosimea fiecărui strat subţire poros-permeabil

h_A - grosimea aparentă a pachetului determinată din P.S.

n - numărul de strate subţiri poroase-permeabile.

C. După cavernogramă

a) Succesiuni nisipoase-grezoase, eventual calcare poroase-permeabile cu marne şi argile impermeabile

Limitele stratului poros-permeabil se determină în punctele în care curba diametrului sondei, d, intersectează dreapta diametrului nominal al sapei, d_n, datorită efectului turtei de noroi (fig.37):

- H_{sup} - adîncimea limitei superioare - în punctul în care se trece de la $d > d_n$ la $d < d_n$

- H_{inf} - adîncimea limitei superioare - în punctul în care se trece de la $d < d_n$ la $d > d_n$

- Grosimea stratului $h = H_{inf} - H_{sup}$

b. Succesiuni carbonatate: calcare, dolomite cu porozitate intergranulară şi/sau fisurate cu zone compacte - sau depozite hidrochimice

Limitele stratului se determină în punctele în care curba diametrului sondei, d, se deplasează în raport cu dreapta diametrului nominal al sapei, d_n, - peste care este suprapusă în zonele compacte (fig.38).

- H_{sup} - adîncimea limitei superioare - în punctul în care se trece de la $d = d_n$ la $d < d_n$
- H_{inf} - adîncimea limitei inferioare - în punctul în care se trece de la $d < d_n$ la $d = d_n$.
- Grosimea stratului $h = H_{inf} - H_{sup}$

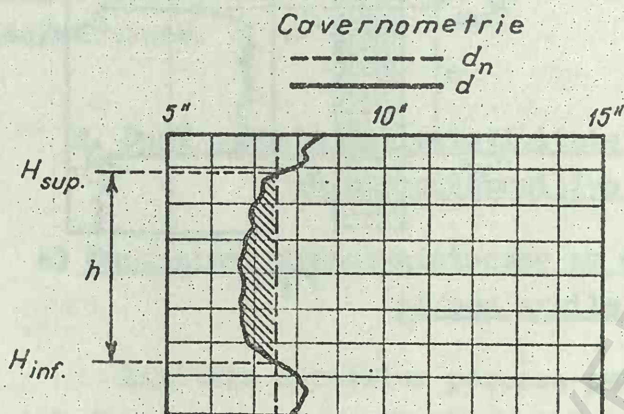


Fig. 37

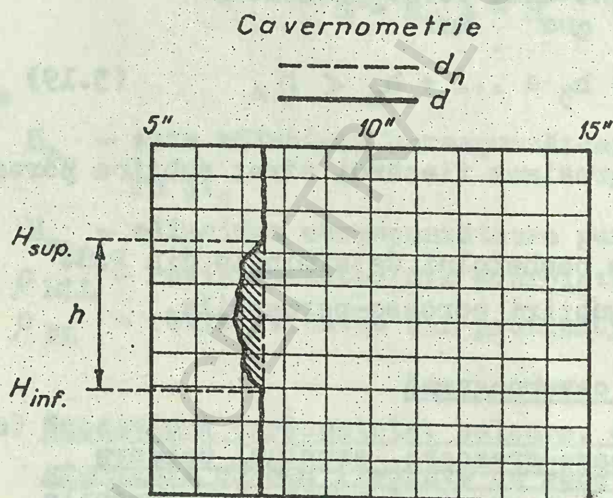


Fig. 38

LUCRAREA NR. 4

DETERMINAREA REZISTIVITATII SUBZONEI SPALATE

ρ_{io}

A. Din diagrafia de microcarotaj

Prelucrarea diagrafiei de microcarotaj obişnuit permite determinarea rezistivităţii subzonei spălate "ρ_{io}" şi grosimea turtei de noroi "h_{tn}", mărimi necesare pentru obţinerea rezistivităţii reale "ρ_R" şi evaluarea conţinutului colectorului.

Efectuarea lucrării se desfăşoară în următoarele etape:

a) Citirea valorilor parametrilor înscrişi şi în antetul diagramei

- scara adîncimilor (1:200),
- adîncimea finală a sondei, H_{max} (în m),
- temperatura maximă la talpa sondei, T_{max} (în ^{o}C),
- rezistivitatea noroiului la suprafaţă, respectiv la $18^{o}C$, $(\rho_n)_{18}$ (în Ω m) şi a turtei de noroi, $(\rho_{t_n})_{18}$ - dacă este determinată,
- scara de măsură a curbelor de rezistivitate aparentă, ρ_A - (în Ωm/div.),
- diametrul sondei, d, (în in sau mm)

b) Determinarea limitelor stratului poros-permeabil ales, a grosimii şi a adîncimii medii a acestuia, H_{sup}, H_{inf}, h, H_{med}

c) Determinarea valorilor rezistivităţilor înregistrate cu cele două microdispozitive

$\rho_{1''\times 1''}$ - rezistivitatea aparentă înregistrată cu microdispozitiv gradient

$\rho_{2''}$ - rezistivitatea aparentă înregistrată cu microdispozitiv potenţial

$\rho_{1''\times 1''}$ = A_1(în div) x n(înΩm/div)

$\rho_{2''}$ = A_2(în div) x n (înΩm/div)

unde:

A_1 şi A_2 reprezintă numărul de diviziuni de la linia de zero a rezistivităţii pînă la curba respectivă.

d) Determinarea temperaturii formaţiei, T, cu una din relaţiile (3.11 - 3.14)

e) Se determină valoarea rezistivităţii noroiului la temperatura stratului $(\rho_n)_T$ - cu ajutorul <u>Abacei nr.1</u> (identic ca pentru rezistivitatea apei de zăcămînt).

f) Se calculează rezistivitatea turtei de noroi, ρ_{tn}, cu relaţia

$$(\rho_{tn})_T = 1{,}5\,(\rho_n)_T \tag{3.20}$$

g) Se calculează valoarea rapoartelor

$$\frac{\rho_{1''\times 1''}}{(\rho_{tn})_T} \quad \text{şi} \quad \frac{\rho_{2''}}{(\rho_{tn})_T} \tag{3.21}$$

h) Determinarea valorii rezistivităţii subzonei spălate, ρ_{io}, şi a grosimii turtei de noroi, h_{tn}.

Practic determinarea celor două mărimi ρ_{io} şi h_{tn} se realizează cu ajutorul abacei nr.7, care dă dependenţa :

$$\frac{\rho_{1''\times 1''}}{\rho_{tn}} = f\left(\frac{\rho_{2''}}{\rho_{tn}}\right) \text{ pentru } \frac{\rho_{io}}{\rho_{tn}} = ct. \text{ şi } h_{tn} = ct. \tag{3.22}$$

Valoarea raportului $\frac{\rho_{1''\times 1''}}{(\rho_{tn})_T}$ se plasează în ordonata abacei pe scara corespunzătoare diametrului sondei, d, iar valoarea raportului $\frac{\rho_{2''}}{(\rho_{tn})_T}$ în abscisă şi se determină punctul P de coordonate $\left(\frac{\rho_{2''}}{(\rho_{tn})_T}, \frac{\rho_{1''\times 1''}}{(\rho_{tn})_T}\right)$ rezultat la intersecţia unei orizontale duse din punctul $\frac{\rho_{1''\times 1''}}{(\rho_{tn})_T}$ şi respectiv unei verticale din punctul $\frac{\rho_{2''}}{(\rho_{tn})_T}$.

Prin punctul P trec două curbe aparţinînd celor două familii de curbe $\frac{\rho_{io}}{\rho_{tn}} = ct.$ şi $h_{tn} = ct.$ (dacă este cazul obţinute prin interpolare). Modulul acestor curbe reprezintă valoarea raportului $\frac{\rho_{io}}{\rho_{tn}}$ şi grosimea turtei, h_{tn}.

- dacă se notează cu M, modulul curbei, rezultă că

$$\frac{\rho_{io}}{\rho_{tn}} = M \quad \text{de unde} \quad \rho_{io} = M\cdot\rho_{tn} \tag{3.23}$$

- grosimea turtei de noroi, h_{tn}, este dată de modulul curbei h_{tn} = ct, care trece prin punctul P.

Exemplu

Stratul nr.1 (anexa B.4)

1. Determinarea limitelor şi grosimii stratului poros-permeabil

a) de pe curbele de rezistivitate:

H_{sup} = 3238,2m; H_{inf} = 3241,4 m; h = 3,2 m

b) din cavernogramă:

H_{sup} = 3238m; H_{inf} = 3241,2 m; h = 3,2 m

2. Determinarea rezistivităţii subzonei spălate ρ_{io}, comportă cunoaşterea următoarelor date:

- $\rho_{2"} = 1,6\,\Omega m$
- $\rho_{1"x1"} = 1,0\,\Omega m$
- $(\rho_n)_{18^oC} = 1,15\,\Omega m$
- $T^o = 105^oC$
- d = 6,7"

Mod de rezolvare

$$(\rho_n)_{105^oC} = 0,34\,\Omega m$$

$$(\rho_n)_{105^oC} = 1,5 \cdot 0,34 = 0,51\,\Omega m$$

$$\frac{\rho_{2"}}{(\rho_{tn})_{105^oC}} = \frac{1,6}{0,51} = 3,1$$

$$\frac{\rho_{1"x1"}}{(\rho_{tn})_{105^oC}} = \frac{1,0}{0,51} = 1,9$$

$$\frac{\rho_{io}}{(\rho_{tn})_{105^o}} = 10$$

$$\rho_{io} = 5,1\,\Omega m$$

E X E R C I T I I

Să se determine limitele şi grosimea stratelor poroase-permeabile şi rezistivitatea subzonei spălate din diagrafia de microcarotaj cuprinse în anexa B.4.

Rezultatele vor fi înscrise în tabelul de mai jos:

Sonda nr.............. Adîncimea maximă.....................

Diametrul nominal al sapei d_n.............. mm

Scara adîncimilor 1:..........

Temperatura maximă T_{max}..........°C

Rezistivitatea noroiului ρ_n.......Ωm

Scara de măsură ρ_A n = ... $\frac{\Omega m/cm}{\Omega m/div}$

Nr. strat	Interval $H_a - H_i$ (m)	h (m)	H_{med} (m)	$\rho_{1"x1"}$ (Ωm)	$\rho_{2"}$ (Ωm)	$(\rho_n)_T$	$(\rho_{tn})_T$	$\frac{\rho_{1"x1"}}{(\rho_{tn})_T}$	$\frac{\rho_{2"}}{(\rho_{tn})_T}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1o
1	3238,2-3241,4	3,2	3239,8	1,0	1,6	0,34	0,51	1,9	3,9

(continuare)

$\frac{\rho_{io}}{(\rho_{tn})_T}$ = M	ρ_{io} (Ωm)	h_{tn} mm(in)
11	12	13
10	5,1	1/2"

B. Din diagrafia de microlaterolog

Diagrafia obţinută din investigarea formaţiunilor traversate de sonde cu microdispozitive focalizate permite obţinerea rezistivităţii subzonei spălate cu condiţia obţinerii, pe o altă cale, a grosimii turtei de noroi.

Efectuarea lucrării se desfăşoară în următoarele etape:

a) Citirea valorilor parametrilor înscrişi în antetul diagramei:

- scara adîncimilor (1:200)
- adîncimea finală a sondei, H_{max} (în m)
- temperatura maximă la talpa sondei, T_{max} (în °C)
- rezistivitatea noroiului la suprafaţă, respectiv la 18°C, $(\rho_n)_{18}$ (în Ω m) şi a turtei de noroi, $(\rho_{tn})_{18}$ - dacă este determinată
- diametrul sondei, d, şi diametrul nominal al sapei, d_n, (în in sau mm).

b) Determinarea limitelor stratului poros permeabil ales, a grosimii şi a adîncimii medii a acestuia, H_{sup}, H_{inf}, h, H_{med}.

c) Citirea valorii rezistivităţii înregistrate, ρ_{MLL}, pe scara grafică din antetul diagramei. (valorile curbei de rezistivitate fiind înscrise pe diagramă în scară logaritmică).

d) Determinarea temperaturii formaţiei, T, cu relaţiile (3.11 - 3.14)

e) Corecţia rezistivităţii noroiului cu temperatura formaţiei cu ajutorul abacei nr.1.

f) Calculul rezistivităţii turtei de noroi, $(\rho_{tn})_T$, cu relaţia

$$(\rho_{tn})_T = 1,5\,(\rho_n)_T \qquad (3.24)$$

g) Determinarea grosimii turtei de noroi, h_{tn} (în in sau mm).

Grosimea turtei de noroi se determină astfel:

- din cavernogramă se citeşte diametrul sondei, d, în dreptul stratului respectiv, şi diametrul nominal al sapei, d_n (valoarea exactă a lui d_n, poate fi cunoscută şi din datele sondei).

Din figura 39 rezultă că diferenţa dintre diametrul sapei, d_n, şi diametrul sondei, d, este egală cu de două ori grosimea turtei de noroi.

Rezultă că:

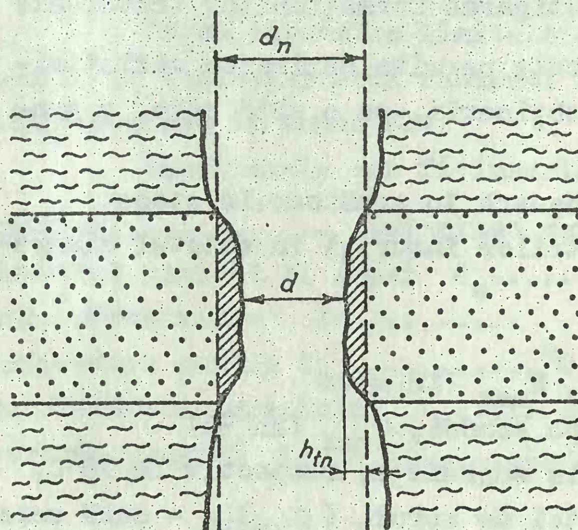


Fig. 39

$$h_{tn} = \frac{d_n - d}{2} \qquad (3.25)$$

h) Se calculează raportul

$$\frac{\rho_{MLL}}{(\rho_{tn})_T}$$

i) Determinarea valorii rezistivității subzonei spălate, ρ_{io}

Pentru determinarea lui ρ_{io} se utilizează abaca nr. 8, care reprezintă dependența

$$\frac{\rho_{MLL}}{(\rho_{tn})_T} = f\frac{\rho_{io}}{(\rho_{tn})_T}$$

pentru h_{tn} = constant (3.26)

Valoarea raportului $\frac{\rho_{MLL}}{(\rho_{tn})_T}$ se introduce în ordonata abacei, de unde se duce o orizontală pînă intersectează curba al cărui modul este egal cu grosimea turtei de noroi calculată anterior. Din punctul de intersecție, se coboară o verticală, citind pe scara din abscisă valoarea raportului $\frac{\rho_{io}}{(\rho_{tn})_T}$. Notînd această valoare cu N rezultă

$$\frac{\rho_{io}}{(\rho_{tn})_T} = N \qquad \text{de unde}$$

$$\rho_{io} = N \cdot (\rho_{tn})_T \qquad (3.27)$$

Exemplu

Stratul nr. 1 (Anexa B.5)

1. Limitele stratului determinate de pe curba de rezistivitate

H_{sup} = 3312 m ; H_{inf} = 3313,5 m ; h = 1,5 m

2. Rezistivitatea subzonei spălate

ρ_{MLL} = 3 Ω m

$(\rho_n)_{18°}$ = 1,5 Ω m

$d_n = 7,3"$

$d = 7,2"$

$T^oC = 110^oC$

Mod de rezolvare

$(\rho_{tn})_{110^oC} = 0,4\Omega m$

$h_{tn} = \frac{d_n - d}{2} \cong 0$

$\frac{\rho_{MLL}}{(\rho_{tn})_{110^oC}} = \frac{3}{0,4} = 7,5$

$N = \frac{\rho_{io}}{\rho_{tn}} = 7,6$ (abaca nr.8)

$\rho_{io} = 30,4$

E X E R C I T I I

Să se determine limitele şi grosimea stratelor poroase-permeabile din anexa B.5. şi rezistivitatea subzonei spălate. Rezultatele determinării se vor înscrie în tabelul de mai jos.

Rezultatele determinării rezistivităţii subzonei spălate "ρ_{io}"

Sonda nr............ Adîncimea maximă................

Diametrul nominal al sapei d_n.......... mm

Scara adîncimilor 1:........

Temperatura maximă T_{max}........ ^oC

Rezistivitatea noroiului ρ_n........... Ωm

Nr. strat	Intervalul $H_s - H_i$ (m)	h (m)	H_{med} (m)	ρ_{MLL} (Ωm)	$(\rho_n)_{Tf}$ (Ωm)	$(\rho_{tn})_{Tf}$ (Ωm)	$\frac{\rho_{MLL}}{(\rho_{tn})_{Tf}}$	$\frac{\rho_{io}}{\rho_{tn}}$	ρ_{io} (Ωm)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3312-3313,5	1,5	3312,75	3	0,47	0,4	7,5	1,05	34,2

LUCRAREA NR.5

DETERMINAREA POROZITATII DIN DIAGRAFIA OBTINUTA CU MICRODISPOZITIVE

In lucrarea nr.4 s-a determinat rezistivitatea subzonei spălate, ρ_{io}, din diagrafia obţinută cu microdispozitive (microcarotaj şi microlaterolog). Pe baza acestei rezistivităţi şi ţinînd seama de relaţia (1.12), poate fi determinat un factor de formaţie, considerînd subzona spălată saturată cu filtrat de noroi de rezistivitate, ρ_{fn}, astfel :

$$F = \frac{\rho_{io}}{\rho_{fn}} \qquad (3.28)$$

valabilă pentru formaţiunile acvifere. Pentru colectoarele cu hidrocarburi, trebuie să se ţină seama şi de saturaţia reziduală în hidrocarburi-s_{rh}

$$F = \frac{(1-s_{rh})^n \cdot \rho_{io}}{\rho_{fn}} \qquad (3.29)$$

unde n este exponentul de saturaţie.

Pentru estimarea valorii saturaţiei reziduale poate fi utilizată o relaţie empirică, valabilă la valori "medii" ale parametrului s_{rh}

$$1-s_{rh} = s_a^{1/5} \qquad (3.30)$$

unde s_a este saturaţia în apă a colectorului, în zona necontaminată.

Cunoscînd valoarea factorului de formaţie astfel determinat, pe baza utilizării relaţiilor (3.28), (3.29) şi (3.30) se poate trece la valori de porozitate prin relaţia generală:

$$m = \left(\frac{a}{F}\right)^{\frac{1}{\nu}} \qquad (3.31)$$

<u>Modalitatea practică de determinare a porozităţii</u>

Din relaţiile de mai sus rezultă că sînt necesare următoarele date:

- rezistivitatea subzonei spălate, ρ_{io}, $[\Omega m]$

- rezistivitatea filtratului de noroi, ρ_{fn}, $[\Omega m]$ (corectată cu temperatura formaţiei)
- rezistivitatea turtei de noroi, ρ_{tn}, $[\Omega m]$
- saturaţia reziduală în hidrocarburi, s_{rh} $[\%]$

Practic pentru determinarea porozităţii se utilizează nomograma nr.9. Modul de lucru este indicat prin săgeţi pe nomogramă. Ultima scală a nomogramei are înscrise pe partea stîngă valori de porozitate, iar pe partea dreaptă valoarea factorului de formaţie.

Exemplu

Se cunosc:

$$\frac{\rho_{io}}{\rho_{tn}} = 10 \quad \text{(din microcarotaj sau microlaterolog).}$$

$$\rho_{tn} = 1{,}5\ \Omega m$$

$$\rho_{fn} = 1\ \Omega m$$

$$s_{rh} = 20\ \%$$

Se obţin următoarele valori:

$$\left.\begin{array}{l} m = 28{,}5\ \% \\ F = 9{,}2 \end{array}\right\} \text{pentru } s_{rh} = 20\ \%$$

şi

$$\left.\begin{array}{l} m = 22{,}8\ \% \\ F = 15 \end{array}\right\} \text{pentru un strat acvifer } (s_{rh}=0)$$

E X E R C I T I I

Să se determine porozitatea şi factorul de formaţie pentru stratele poroase permeabile din anexele B.4 şi B.5 pentru care au fost determinate valorile ρ_{io}/ρ_{tn}, pentru o saturaţie reziduală în hidrocarburi s_{rh} = 30 %.

3.5. Carotajul electric lateral

Carotajul electric lateral, constă în măsurarea rezistivității aparente cu o succesiune de dispozitive potențiale și gradiente de lungimi diferite, deci cu rază de investigație diferită (fig.40). Carotajul electric lateral aplicat curent în șantierele de petrol din țară este cunoscut sub denumirea de D.R.R. (determinarea rezistivității reale). In cadrul acestei metode formațiunile traversate de sondă se investighează cu o succesiune de patru dispozitive, unul potențial și trei gradiente și anume

M 0,3 A 2 B	$L_p = \overline{AM} = 0,3$ m	$r_{ip} = 0,6$ m
B 0,3 A 2 M	$L_g = \overline{OM} = 2,15$ m	$r_{ig} = 2,15$ m
B 0,5 A 4 M	$L_g = \overline{OM} = 4,25$ m	$r_{ig} = 4,25$ m
B 0,8 A 8 M	$L_g = \overline{OM} = 8,4$ m	$r_{ig} = 8,4$ m

De fapt această metodă folosește numai trei curbe distincte înregistrate cu dispozitivele B 0,3 A 2 M, B 0,5 A 4 M și B 0,8 A 8 M în scara 1:500. Aceste curbe de rezistivitate sînt însoțite de o curbă de P.S.

Curbele de rezistivitate înregistrate cu dispozitivele M 0,3 A 2 B și B 0,3 A 2 M în scara 1:1000 fac parte din carotajul electric standard.

O diagramă de carotaj electric lateral în varianta D.R.R. este prezentată în anexa B.6., în faza de utilizare pentru interpretare.

Prelucrarea materialului diagrafic înregistrat prin această metodă se face cu ajutorul unui sistem de abace și nomograme calculate și construite în mod special și permite determinarea rezistivității reale, a rezistivității zonei de invazie, a diametrului de invazie. Totodată permite aprecierea conținutului colectorului.

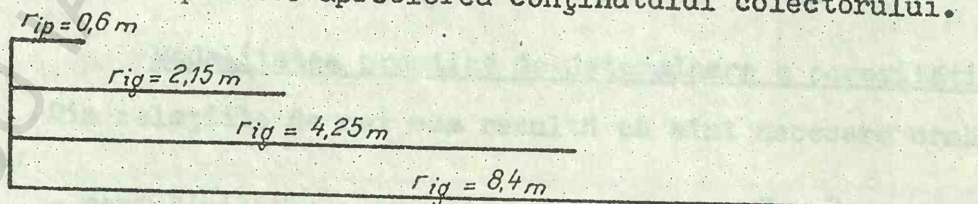


Fig. 40

LUCRAREA NR. 6

DETERMINAREA REZISTIVITATII REALE, ρ_R, A REZISTIVITATII ZONEI INVADATE, ρ_i, SI A DIAMETRULUI DE INVAZIE, D_i, DIN CAROTAJUL ELECTRIC LATERAL - METODA D.R.R.

Prelucrarea şi interpretarea curbelor înregistrate în procedeul D.R.R. oferă posibilitatea determinării zonei invadate (ρ_i), rezistivităţii reale (ρ_R) şi diametrul zonei de invazie, D_i. Prelucrarea materialului diagrafic cuprinde mai multe etape şi anume:

a) Determinarea rezistivităţii zonei invadate

b) Corectarea rezistivităţii aparente înregistrată de fiecare dispozitiv pentru grosimea stratului şi influenţa rocii adiacente, determinînd prin aceasta care ar fi fost rezistivitatea stratului în cazul că ar fi avut o grosime infinită.

c) Determinarea rezistivităţii reale şi a diametrului zonei de invazie din rezistivităţile aparente ale celor trei dispozitive gradiente folosind o soluţie grafică de rezolvare a sistemului de ecuaţii oferit de cele trei curbe.

Pentru determinarea acestor valori sînt necesare următoarele date:

- grosimea stratului, h, se determină în mod obişnuit de pe curba de P.S. Pentru determinarea grosimii stratului se recomandă utilizarea diagrafiei înregistrată cu microdispozitive fiind cea mai precisă metodă. Subordonat se pot utiliza curbele de rezistivitate înregistrate cu dispozitive potenţiale şi gradiente.

- diametrul sondei, d, se determină din cavernogramă. In lipsa unei astfel de măsurători se va considera, pentru stratele poros-permeabile, diametrul sondei egal cu diametrul nominal al sapei;

- rezistivitatea rocii adiacente, ρ_{ad}, este egală cu valoarea înregistrată cu dispozitivul gradient cu lungimea MO = 4,25 m, într-un strat de argilă sau marnă apropiat, cu o grosime suficient de mare (h > 8 m);

- rezistivitatea noroiului, ρ_n, este înscrisă de regulă în antetul diagramei şi este determinată cu ajutorul rezistivimetrelor de suprafaţă; această valoare trebuie corectată cu temperatura formaţiei, cu ajutorul abacei nr. 1;

- rezistivităţile aparente maxime, înregistrate cu cele patru dispozitive şi anume:

- dispozitiv potențial : M 0,3 A 2 m - $\rho_{0,3}$
- dispozitive gradiente B 0,3 A 2 M - $\rho_{2,15}$
  B 0,5 A 4 M - $\rho_{4,25}$
  B 0,8 A 8 M - $\rho_{8,4}$

Valorile de rezistivitate maximă se citesc în punctele de maxim ale curbelor de rezistivitate. Aceste valori pot fi citite direct pe scara grafică din antetul diagramei. De asemenea, aceleaşi valori se pot obține astfel:

- se citeşte în antetul diagramei scara de măsură a curbelor de rezistivitate aparentă - n (în Ω m/cm);
- se măsoară amplitudinea maximă a curbei de rezistivitate, A_{max}, (în cm), fiind egală cu distanța de la linia de zero corespunzătoare fiecărei curbe şi pînă în punctul de maxim;
- valoarea rezistivității va fi egală cu:

$$\rho_L = A_{max}\,(cm) \cdot n\,(\Omega m/cm)$$

unde L este lungimea dispozitivului.

A. <u>Modul de determinare a rezistivității zonei de invazie</u> (ρ_i)

Pentru determinarea rezistivității zonei de invazie se folosesc următoarele date:

- rezistivitatea maximă aparentă înregistrată cu dispozitivul potențial M 0,3 A 2 B, $\rho_{0,3}$;
- rezistivitatea noroiului corectată cu temperatura formației, $(\rho_n)_T$;
- diametrul sondei, d;

Practic, pentru a determina pe $_i$ se utilizează nomograma nr.1o (în care pentru simplificare s-a inclus numai scara pentru d= 25o mm), astfel:

- se calculează raportul $\frac{\rho_{0,3}}{\rho_n}$
- se plasează această valoare pe cele două scări laterale ale nomogramei şi se unesc cu o linie dreaptă
- la intersecția cu scara corespunzătoare diametrului sondei d, se determină valoarea raportului $\frac{\rho_i}{\rho_n}$ = A; cunoscînd pe ρ_n se calculează :

$$\rho_i = A \cdot \rho_n \qquad (3.32)$$

B. Determinarea rezistivităţii reale, ρ_R, şi a diametrului zonei de invazie, D_i

Pentru determinarea rezistivităţii reale şi a diametrului zonei de invazie se parcurg următoarele etape:

a) Se corectează rezistivităţile înregistrate cu cele trei dispozitive gradiente cu rezistivitatea rocii adiacente, adică se transformă rezistivităţile aparente înregistrate, în valorile corespunzătoare care ar fi fost înregistrate dacă stratul de cercetat ar fi avut o grosime infinită.

Pentru aceasta se calculează rapoartele:

$$\frac{\rho_{2,15}}{\rho_{ad}} \; ; \; \frac{\rho_{4,25}}{\rho_{ad}} \; ; \; \frac{\rho_{8,4}}{\rho_{ad}}$$

Corecţia se face cu ajutorul a trei abace construite pentru cele trei dispozitive care dau dependenţa:

$$\frac{\rho_L}{\rho_{ad}} = f\left(\frac{\rho_{L-\infty}}{\rho_{ad}}\right) \quad pentru \quad h = ct. \tag{3.33}$$

Aceste abace sînt:

Abaca nr. 11 pentru dispozitivul gradient de 2,15 m

Abaca nr. 12 pentru dispozitivul gradient de 4,25 m

Abaca nr. 13 pentru dispozitivul gradient de 8,4 m

Modul de lucru este acelaşi pentru toate trei abacele şi anume:

- se introduce în ordonată valoarea raportului $\frac{\rho_L}{\rho_{ad}}$ şi se duce o orizontală pînă intersectează curba corespunzătoare grosimii stratului. Din acest punct de intersecţie se coboară o verticală şi în abscisă se citeşte valoarea raportului $\frac{\rho_{L-\infty}}{\rho_{ad}}$; adică se citesc valorile rapoartelor

$$\frac{\rho_{2,15-\infty}}{\rho_{ad}} \; ; \; \frac{\rho_{4,25-\infty}}{\rho_{ad}} \; ; \; \frac{\rho_{8,4-\infty}}{\rho_{ad}}$$

b) Se transformă valoarea $\frac{\rho_{L-\infty}}{\rho_{ad}}$ în valoarea $\frac{\rho_{L-\infty}}{\rho_n}$ fie cu ajutorul unei nomograme, fie făcînd următoarele calcule:

dacă

$$\frac{\rho_{2,15-\infty}}{\rho_{ad}} = a \; ; \quad \frac{\rho_{4,25-\infty}}{\rho_{ad}} = b \quad şi \quad \frac{\rho_{8,4-\infty}}{\rho_{ad}} = c$$

rezultă că:

$$\rho_{2,15-\infty} = a \cdot \rho_{ad}$$

$$\rho_{4,25-\infty} = b \cdot \rho_{ad}$$

$$\rho_{8,4-\infty} = c \cdot \rho_{ad}$$

- se calculează apoi valorile rapoartelor:

$$\frac{\rho_{2,15-\infty}}{\rho_n} ; \frac{\rho_{4,25-\infty}}{\rho_n} ; \frac{\rho_{8,4-\infty}}{\rho_n}$$

c) In această etapă se urmăreşte definirea variaţiei raportului $\rho_{L-\infty}/\rho_n$ pentru patru diametre ale zonei invadate în funcţie de raportul ρ_i/ρ_n. Pentru determinarea rezistivităţii reale au fost construite abace pentru diametre de invazie egale cu: 2d, 4d, 8d şi 16d ; abacele nr.14, 15, 16, 17.

Pe fiecare abacă corespunzînd unui anumit diametru al zonei de invazie sînt trasate trei grupe de curbe. Prima grupă din stînga corespunde dispozitivului de 2,15 m, următoarea pentru 4,25 m şi ultima grupă corespunde dispozitivului de 8,4 m.

In fiecare grupă sînt trasate cinci curbe corespunzînd următoarelor valori ale raportului $\frac{\rho_i}{\rho_n}$ = 5; 10; 20; 40 şi 100. Este destul de frecventă suprapunerea mai multor curbe, în special la dispozitivele cu rază mare de investigare (în lucrare se folosesc abace simplif.pt. $\frac{\rho_i}{\rho_n}$ =5 şi 10). Aceste abace au în abscisă valoarea $\rho_{L-\infty}/\rho_n$ iar în ordonată valoarea raportului ρ_R/ρ_n. De precizat că pentru abscisă există trei serii de valori:

- cele inferioare corespunzătoare raportului $\frac{\rho_{2,15-\infty}}{\rho_n}$
- cele intermediare corespunzătoare raportului $\frac{\rho_{4,25-\infty}}{\rho_n}$
- cele superioare corespunzătoare raportului $\frac{\rho_{8,4-\infty}}{\rho_n}$

Modul de lucru cu aceste abace este următorul: se introduce valoarea raportului $\rho_{L-\infty}/\rho_n$ în abscisă pe scara corespunzătoare şi se coboară pînă ce intersectează curba al cărui modul este egal cu valoarea raportului ρ_i/ρ_n determinat anterior. De aici se merge orizontal şi se citeşte în ordonată valoarea raportului ρ_R/ρ_n. Acelaşi procedeu este urmat pentru toate cele patru diametre de invazie şi pentru cele trei dispozitive de 2,15 m; 4,25 m şi 8,4 m.

Cu ajutorul datelor obţinute se poate construi un tabel de forma

ρ_i/ρ_n =		d =	
D_i	$\rho_{2,15-\infty}/\rho_n$ =	$\rho_{4,25-\infty}/\rho_n$ =	$\rho_{8,4-\infty}/\rho_n$ =
2 d	a_1	b_1	c_1
4 d	a_2	b_2	c_2
8 d	a_3	b_3	c_3
16 d	a_4	b_4	c_4

d) Se construieşte un grafic dublu logaritmic de dependenţă:

$$\frac{\rho_R}{\rho_n} = f\left(\frac{D_i}{d}\right) \qquad (3.34)$$

Pentru fiecare dispozitiv se trasează o curbă ce va trece prin punctele de coordonate:

- pentru dispozitivul de 2,15 m : $(2;a_1)$; $(4;a_2)$;$(8;a_3)$;$(16;a_4)$
- pentru dispozitivul de 4,25 m : $(2;b_1)$;$(4;b_2)$;$(8;b_3)$;$(16;b_4)$
- pentru dispozitivul de 8,4 m : $(2;c_1)$;$(4;c_2)$;$(8;c_3)$;$(16;c_4)$

Cele trei curbe se intersectează în trei puncte dînd naştere unui triunghi curbiliniu (cazurile particulare de intersecţie sînt redate în Anexa A.48).

Centrul de greutate al acestui triunghi reprezintă soluţia grafică, care dă în abscisă valoarea raportului D_i/d iar în ordonată valoarea raportului ρ_R/ρ_n adică:

$$\left.\begin{aligned} \frac{\rho_R}{\rho_n} = A &\Longrightarrow \rho_R = A\cdot\rho_n \\ \frac{D}{d} = B &\Longrightarrow D = B\cdot d \end{aligned}\right\} \qquad (3.25)$$

Valorile A şi B se citesc în ordonată, respectiv în abscisa graficului dublulogaritmic prin trasarea unei orizontale, respectiv unei verticale din centrul de greutate.

Pe baza valorilor parametrilor determinaţi se poate face estimarea conţinutului colectorului conform tabelului de mai jos:

Raportul $\frac{\rho_i}{\rho_R}$	Caracterizarea colectorului
< 4	"Rocă posibil cu hidrocarburi"
$\cong 4$	"Rocă posibil cu hidrocarburi şi o cantitate de apă
> 4	"Rocă cu apă"

Exemplu privind interpretarea D.R.R.

Stratul nr.1 - Anexa B.6.

a) Determinarea rezistivității zonei de invazie (ρ_i)

Determinarea acestui parametru se face cu ajutorul nomogramei nr.10 , special construită.

Sînt necesare următoarele date:

$\rho_{o,3} = 13\Omega m$

$(\rho_n)_T = 1,2\Omega m$

d = 250 mm

Se calculează raportul:

$$\frac{\rho_{o,3}}{(\rho_n)_T} = \frac{13}{1,2} = 10,8$$

și se găsește cu ajutorul nomogramei nr.10. valoarea raportului:

$$\frac{\rho_i}{\rho_n} = 11,7 \text{ rezultă } \rho_i = 11,7 \cdot 1,2 = 14,04\Omega m$$

b) Corecția rezistivităților înregistrate $\rho_{2,15}$, $\rho_{4,25}$, $\rho_{8,4}$ cu rezistivitatea rocilor adiacente

$\rho_{2,15} = 15\Omega m$

$\rho_{4,25} = 8\Omega m$ din diagramă

$\rho_{8,4} = 5\Omega m$

$\rho_{ad} = 4\Omega m$

Se calculează rapoartele

$$\frac{\rho_{2,15}}{\rho_{ad}} = \frac{15}{4} = 3,75$$

$$\frac{\rho_{4,25}}{\rho_{ad}} = \frac{8}{4} = 2,00$$

$$\frac{\rho_{8,4}}{\rho_{ad}} = \frac{5}{4} = 1,25$$

Cu ajutorul abacelor 11, 12, 13 se găsesc pentru un strat de grosime h = 7 m, (grosimea stratului fiind determinată pentru stratul

nr.1 de pe curba de P.S.), următoarele valori:

$$\frac{\rho_{2,15-\infty}}{\rho_{ad}} = 2,5 \; ; \quad \rho_{2,15-\infty} = 2,5 \cdot 4 = 10\,\Omega m$$

$$\frac{\rho_{4,25-\infty}}{\rho_{ad}} = 1,5 \; ; \quad \rho_{4,25-\infty} = 1,5 \cdot 4 = 6\,\Omega m$$

$$\frac{\rho_{8,4-\infty}}{\rho_{ad}} = 1,25 ; \quad \rho_{8,4-\infty} = 1,25 \cdot 4 = 5\,\Omega m$$

c) Determinarea rezistivității reale (ρ_R) și a diametrului zonei de invazie (D)

Se calculează rapoartele:

$$\frac{\rho_{2,15-\infty}}{\rho_n} = \frac{10}{1,2} = 8,3$$

$$\frac{\rho_{4,25-\infty}}{\rho_n} = \frac{6}{1,2} = 5$$

$$\frac{\rho_{8,4-\infty}}{\rho_n} = \frac{5}{1,2} = 4,2$$

Cu valorile acestor rapoarte se determină valorile rezistivității reale pentru diferite diametre de invazie cu ajutorul abacelor nr. 14, 15, 16, 17. Datele obținute sînt înscrise pe coloană în tabelul de mai jos, pentru fiecare dispozitiv.

$\frac{\rho_i}{\rho_n} = 11,7$		d = 250 mm	
D	$\rho_{2,15-\infty}/\rho_n = 8,3$	$\rho_{4,25-\infty}/\rho_n = 5$	$\rho_{8,4-\infty}/\rho_n = 4,2$
2d	7,2	5	4,7
4d	5,7	4,6	4,4
8d	3,6	4	4,2
16d	-	2	4,2

Se construieşte graficul dublu logaritmic pentru fiecare dispozitiv în parte (fig.41) şi se obţin valorile:

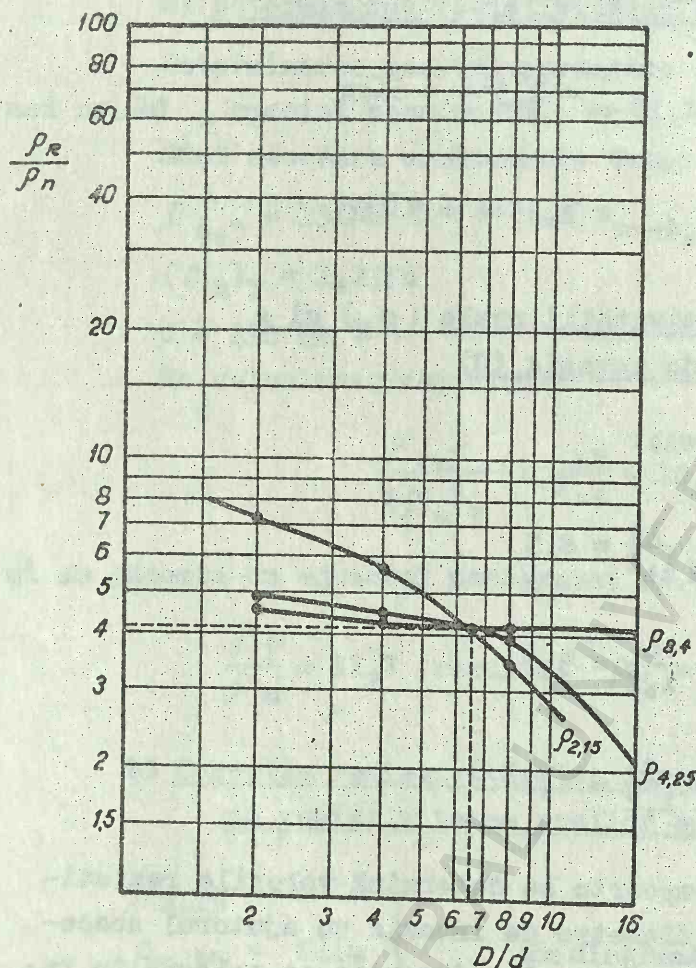


Fig.41

$D/d = 6,6$; $\frac{\rho_R}{\rho_n} = 4,3$

rezultă:

$D = 6,6 \cdot 0,250 = 1,65$ m

$\rho_R = 4,3 \cdot 1,2 = 5,16 \Omega m$

Calculînd raportul

$\frac{\rho_i}{\rho_R} = \frac{14,04}{5,16} = 2,7$

pe baza căruia se poate face estimarea conţinutului colectorului ca: "Rocă posibil cu hidrocarburi".

EXERCITII

Să se determine rezistivitatea zonei de invazie, "ρ_i", rezistivitatea reală, "ρ_R", şi diametrul zonei de invazie, D, pentru stratele poroase permeabile din anexa B.6., să se estimeze conţinutul colectoarelor.

3.6. Carotajul electric cu curenţi focalizaţi
(laterolog)

După cum s-a arătat mai sus, metodele electrice convenţionale măsoară rezistivitatea aparentă cu ajutorul dispozitivelor cu trei electrozi. Datorită influenţei simultane a coloanei de noroi, a zonei de invazie şi a stratelor adiacente, cîmpul electric ce ia naştere în dreptul stratului este deformat.

Dacă rezistivitatea noroiului este foarte mică (noroaie mineralizate), efectul de scurtcircuitare al liniilor de curent va fi foarte pronunţat.

Aceste influenţe sînt eliminate prin folosirea unei metode care constă în cercetarea formaţiunilor traversate de sondă cu ajutorul unui cîmp electric focalizat, rezultat în urma acţiunii de dirijare a curentului, perpendicular pe peretele sondei. Focalizarea curentului electric se realizează cu ajutorul dispozitivelor cu şapte electrozi punctiformi (Laterolog 7) sau a dispozitivului cu trei electrozi alungiţi (Laterolog 3).

Dispozitivul cu şapte electrozi (fig.42) este format dintr-un

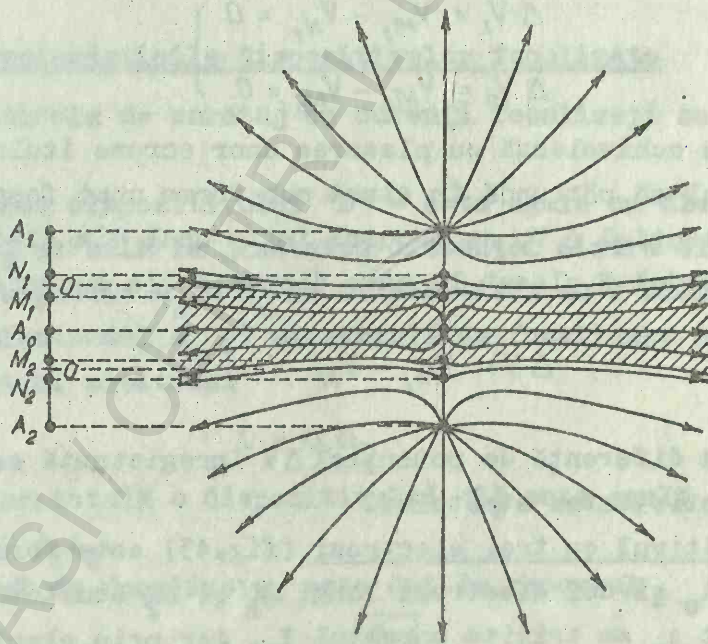


Fig.42. Dispozitivul de carotaj electric cu curenţi focalizaţi - Laterolog 7.

central A_0 şi doi electrozi de focalizare A_1 şi A_2 scurtcircuitaţi, plasaţi simetric în raport cu A_0. Dispozitivul mai conţine două perechi de electrozi de măsură M_1, N_1 şi M_2, N_2 punctiformi, plasaţi simetric în raport cu A_0 şi de asemenea scurtcircuitaţi. Prin electrodul central A_0 se trimite un curent de intensitate I_0, iar prin perechea de electrozi A_1 şi A_2 scurtcircuitaţi curentul de focalizare I_1, de aceeaşi polaritate cu I_0.

Aceşti curenţi crează în mediul înconjurător două cîmpuri electrice şi anume:

- cîmpul de măsură creat de curentul I_0
- cîmpul de focalizare creat de curentul I_1.

Cîmpul de focalizare îmbracă cîmpul de măsură dirijîndu-l pe acesta să ia forma unei pînze de curent perpendiculară pe peretele sondei şi dispusă între două plane care trec la mijlocul distanţei perechilor de electrozi scurtcircuitaţi M_1,N_1 si M_2,N_2.

Intensitatea curentului I_1 trimis prin electrozii de focalizare A_1 şi A_2 este reglată automat şi continuu în raport cu curentul I_0, astfel încît diferenţele de potenţial între perechile de electrozi de măsură să fie egale cu zero.

$$\left.\begin{aligned} \Delta V_1 &= V_{M_1} - V_{N_1} = 0 \\ \Delta V_2 &= V_{M_2} - V_{N_2} = 0 \end{aligned}\right\} \qquad (3.36)$$

Aceasta echivalează cu plasarea unor ecrane izolatoare care forţează curentul să pătrundă în strat sub forma unui fascicol. Diferenţa de potenţial ΔV, se măsoară între unul din electrozii de măsură şi electrodul N plasat la mare distanţă (la suprafaţă)

$$\Delta V = V_{M_1} - V_N \qquad (3.37)$$

Această diferenţă de potenţial ΔV înregistrată este proporţională cu rezistivitatea stratului.

<u>Dispozitivul cu trei electrozi</u> (fig.43) este format dintr-un electrod scurt A_0 şi doi electrozi lungi A_1 şi A_2 scurtcircuitaţi. Prin electrodul scurt A_0 se trimite curentul I_0, iar prin electrozii A_1 şi A_2 un curent I_1 de aceeaşi polaritate ce se reglează automat astfel ca potenţialul electrozilor $A_1 - A_2$ să se menţină la potenţialul electrodului A_0.

Determinarea rezistivităţii se face fie prin măsurarea curentului I_0, menţinîndu-se constant potenţialul electrodului A_0, sau

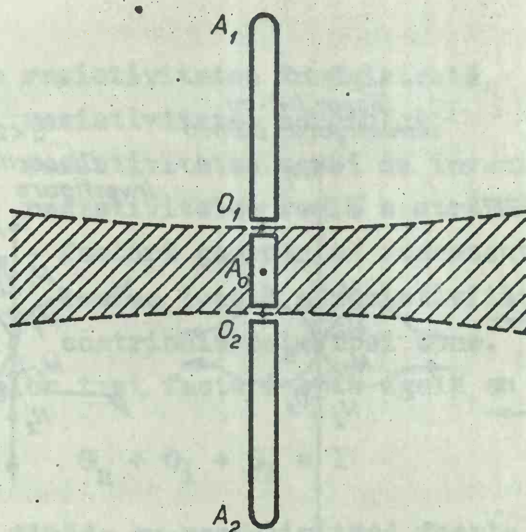


Fig.43. Dispozitivul de carotaj electric cu curenți focalizați-Laterolog3

invers menținîndu-se constant I_o și măsurîndu-se potențialul A_o față de infinit

$$\Delta V = V_{A_o} - V_N \quad (3.38)$$

Caracteristicile dispozitivelor focalizate

Dispozitivele de carotaj cu curenți focalizați se caracterizează prin:

- Lungimea dispozitivului "L" - este egală cu distanța O_1O_2. Punctele O_1 și O_2 se află la jumătatea distanței dintre electrozii de măsură $M_1 - N_1$ respectiv $M_2 - N_2$ la dispozitivul cu 7 electrozi punctiformi și între electrodul A_o și electrozii de focalizare A_1 și A_2 la dispozitivul cu trei electrozi

$$L = O_1O_2$$

- Lungimea totală a dispozitivului "L_T" este egală cu distanța dintre electrozii A_1A_2.

- Modulul de focalizare, este dat de raportul

$$S = \frac{L}{L_T} = \frac{\overline{A_1 A_2}}{\overline{O_1 O_2}} \quad (3.39)$$

Modulul de focalizare condiționează forma pînzei de curent și totodată adîncimea de investigare.

Pentru un modul de focalizare mic, liniile de curent diverg la o distanță foarte mică de peretele sondei (fig.44.c),

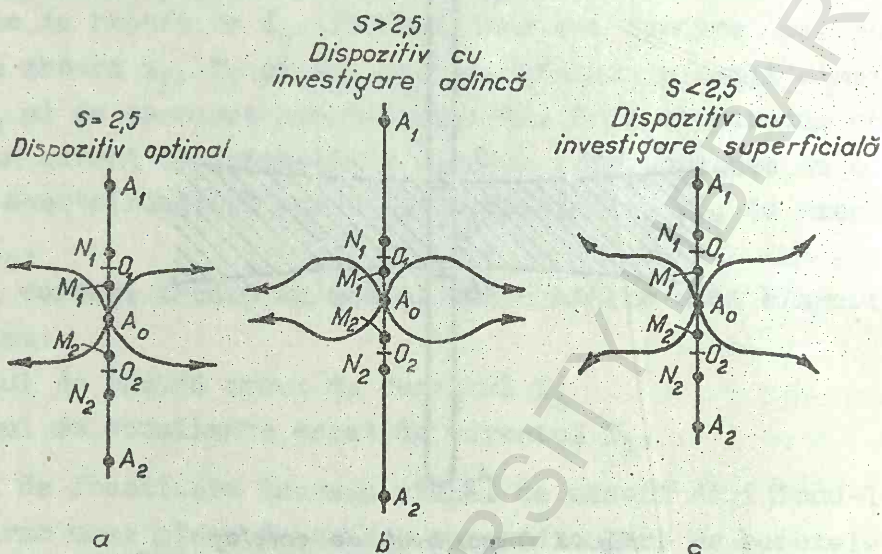


Fig.44

$S < 2,5$ - rază de investigare mică (Dispozitiv cu investigare superficială)

Pentru valori mari ale lui S, liniile de curent au tendință de convergență (fig.44 b).

$S > 2,5$ - rază de investigare mare (Dispozitiv cu investigare adîncă).

Pentru valori optime ale lui S, liniile de curent sînt paralele (fig.44 a)

$S = 2,5$ - rază de investigare medie (Dispozitiv cu investigare medie sau Dispozitiv optimal).

Punctul de înregistrare a rezistivității aparente (măsurate) cu dispozitive focalizate se raportează la nivelul electrodului principal A_0.

Cu dispozitivele focalizate LL_3 sau LL_7 se înregistrează o curbă de rezistivitate ρ_A (Ωm) înscrisă pe trasa din dreapta a diagramei, însoțită de regulă de o curbă a radioactivității naturale (curba gama) sau o curbă de P.S. vezi anexa B.7.

Rezistivitatea măsurată cu dispozitive focalizate reprezintă o sumă a mai multor componente avînd forma

$$\rho_{LL} = G_n \cdot \rho_n + G_i \cdot \rho_i + G_R \cdot \rho_R \qquad (3.40)$$

în care:

ρ_{LL} este rezistivitatea înregistrată,

ρ_n - rezistivitatea noroiului,

ρ_i - rezistivitatea zonei de invazie,

ρ_R - rezistivitatea reală a stratului,

G_n, G_i, G_R - factori geometrici reprezentînd ponderea din valoarea totală a rezistivității măsurate, cu care contribuie cele trei zone.

Suma celor trei factori este egală cu unitatea:

$$G_n + G_i + G_R = 1$$

Pentru fluide cu rezistivități foarte mici, fiind de fapt domeniul de aplicabilitate al laterologului, produsul $G_n \rho_n = 0$

Deci

$$\rho_{LL} = G_i \rho_i + G_R \rho_R \qquad (3.41)$$

sau ținînd seama că $G_i + G_R = 1$

$$\rho_{LL} = G_i \rho_i + (1-G_i)\rho_R \qquad (3.42)$$

Admițînd că zona de pătrundere a filtratului de noroi este omogenă, cu o rezistivitate egală cu cea a zonei spălate relația (3.42) se transcrie

$$\left.\begin{aligned} \rho_{LL} &= G_i \rho_{io} + (1-G_i)\rho_R \\ \text{sau} \quad \rho_R &= \frac{\rho_{LL} - G_i \rho_{io}}{1-G_i} \end{aligned}\right\} \qquad (3.43)$$

Relația (3.43) redă modul de calcul al rezistivității reale, ρ_R.

LUCRAREA NR. 7

DETERMINAREA REZISTIVITATII REALE, ρ_R, DIN CAROTAJUL ELECTRIC CU CURENTI FOCALIZATI

Laterolog 3 (LL_3) sau Laterolog 7 (LL_7)

Pentru determinarea rezistivităţii reale, ρ_R, în baza relaţiei (3.43) se utilizează curba de rezistivitate înregistrată în carotajul electric cu curenţi focalizaţi (LL_3 sau LL_7).

Efectuarea lucrării se desfăşoară în următoarele etape:

a) Citirea valorilor de rezistivitate aparentă:

- ρ_{LL_3} sau ρ_{LL_7} - se citeşte valoarea rezistivităţii aparente în punctul de maxim al amplitudinii curbei de rezistivitate în dreptul stratului analizat;
- ρ_{ad} (rezistivitatea rocii adiacente) - se citeşte în dreptul unui strat de marnă sau argilă pe curba de rezistivitate.

b) Alte date necesare:

- ρ_{io} - (rezistivitatea subzonei spălate) - determinată din microlaterolog;
- h (grosimea stratului) - determinată de pe curba gama-natural înscrisă de obicei pe trasa din stînga a diagramei (vezi lucrarea nr.4);
- D - (diametrul de invazie) - estimat din altă metodă.

<u>Procedeul de determinare</u>

c) Se vor corecta rezistivităţile aparente citite, ρ_{LL_3} (ρ_{LL_7}), cu grosimea stratului, h şi rezistivitatea stratului adiacent, ρ_{ad}. Pentru aceasta se va calcula raportul:

$$\frac{\rho_{LL_3}}{\rho_{ad}} \text{ sau } \frac{\rho_{LL_7}}{\rho_{ad}}$$

Valorile corectate se obţin cu ajutorul abacei nr.18a pentru LL_3 şi nr.18b pentru LL_7. Cele două abace sînt asemănătoare iar modul de lucru este acelaşi.

Ambele abace au înscrise în abscisă grosimea stratului, h [pic.], iar în ordonată valori ale raportului $\rho_{LL_3}cor/\rho_{LL_3}$ respectiv $\rho_{LL_7}cor/\rho_{LL_7}$. Abacele conţin curbe al căror modul corespunde raportului $\frac{\rho_{LL_3}}{\rho_{ad}}$ sau $\frac{\rho_{LL_7}}{\rho_{ad}}$.

Se introduce în abscisă grosimea stratului, h, şi se ridică o verticală pînă intersectează curba al cărui modul este egal cu valoarea raportului $\rho_{LL3(7)}/\rho_{ad}$. Din punctul de intersecţie se duce o orizontală, iar în ordonată se citeşte valoarea raportului $\frac{\rho_{LL_{3,cor}}}{\rho_{LL_3}}$ = m, sau $\rho_{LL_{7,cor}}/\rho_{LL_7}$ = n.

Valoarea corectată de rezistivitate va fi:

$$\rho_{LL_{3,cor}} = m \cdot \rho_{LL_3} \quad sau \quad \rho_{LL_{7,cor}} = n \cdot \rho_{LL_7} \qquad (3.44)$$

d) Se determină valoarea factorului geometric integrat, G_i, în funcţie de diametrul de invazie, D, cu ajutorul abacei nr.19.

Valoarea diametrului de invazie, D, se introduce în abscisa abacei şi se ridică o verticală pînă intersectează curba corespunzătoare dispozitivului folosit. Din punctul de intersecţie se duce o orizontală şi în orizontală se citeşte valoarea lui G_i.

e) Rezistivitatea reală ρ_R se calculează în funcţie de $\rho_{LL_{3(7),cor}}$, ρ_{io} şi G_i cu relaţia (3.43): $\rho_R = \frac{\rho_{LL_{3(7),cor}} - G_i \rho_{io}}{1 - G_i}$

Exemplu

Determinarea rezistivităţii reale ρ_R din LL_3 comportă cunoaşterea următoarelor valori:

ρ_{LL_3} = 155 Ω m

D = 1,52 m

ρ_{ad} = 3Ω m

h = 5 m

ρ_{io} = 10Ω m

$\frac{\rho_{LL_3}}{\rho_{ad}} = \frac{155}{3} = 51,6$. $\frac{\rho_{LL_{3,cor}}}{\rho_{LL_3}} = 1,36$ (Abaca nr.18b)

$\rho_{LL_{3,cor}}$ = 155·1,36 = 210,8

G_i = 0,64 (Abaca nr.19.) $\rho_R = \frac{210,8 - 0,64 \cdot 10}{1 - 0,64} = 567\ \Omega m$

E X E R C I T I I

Să se determine rezistivitatea reală pentru intervalele 1, 2, 3,4,5,6 din diagrafia LL_3 (Anexa B.7) cunoscînd următoarele date:

ρ_{LL_3} şi ρ_{MLL} (din diagrafie)

h_{tn} (din diagrafie)

$(\rho_n)_T = 0,01\Omega m$

Datele necesare şi obţinute se vor cumula în tabelul:

Nr. crt.	Intervalul $H_{inf} - H_{sup}$	h	$\rho_{LL_3(7)}$	ρ_{ad}	$\frac{\rho_{LL_3(7)}}{\rho_{ad}}$	m(n)	$\rho_{LL_3(7)\,cor}$	D (m)	G_i	ρ_{io}	ρ_R
1	2374 - 2379	5	155	3	51,6	1,36	210,8	1,52	0,64	10	567

3.7. Carotajul electric cu curenţi focalizaţi dual Dual-laterolog (DLL)

Metoda dual-laterolog reprezintă o metodă de investigare a formaţiunilor geologice traversate de foraje, pe principiul rezistivităţii, prin procedeul curenţilor focalizaţi. Dispozitivul de investigare este compus dintr-un aranjament de 9 electrozi, constituind de fapt două dispozitive focalizate combinate (fig.45):

a) Dispozitiv de investigare superficială - LL_s

b) Dispozitiv de investigare adîncă - LL_a

Electrozii au următoarele funcţii:

- Nr.1 - electrod de curent pentru cîmpul de măsură (focalizat) (A_o).

- Nr.2 şi 2' şi nr. 3 şi 3' - perechi de electrozi de sesizare pentru comanda sostemului de focalizare şi măsura parametrului rezistivitate (M_1, M_1' şi M_2, M_2').

- Nr. 4 şi 4' şi nr. 5 şi 5' - perechi de electrozi de curent pentru cîmpul de focalizare (A_1, A_1' şi respectiv A_2, A_2').

Cele două dispozitive crează simultan cîte un cîmp electric alternativ focalizat - pe două frecvenţe diferite, emise de electrodul de curent central nr.1(A_o), dirijate perpendicular pe pereţii găurii de sondă, astfel încît să pătrundă în formaţia investigată, independent de contrastele de rezistivitate existente faţă de fluidul din gaura de sondă formaţiunile adiacente.

Forma "focalizată" a cîmpului de măsură este menţinută cu ajutorul cîmpului de curent de focalizare. După modul de constituire a

PRINCIPIUL DISPOZITIVULUI DLL

LLa LLS

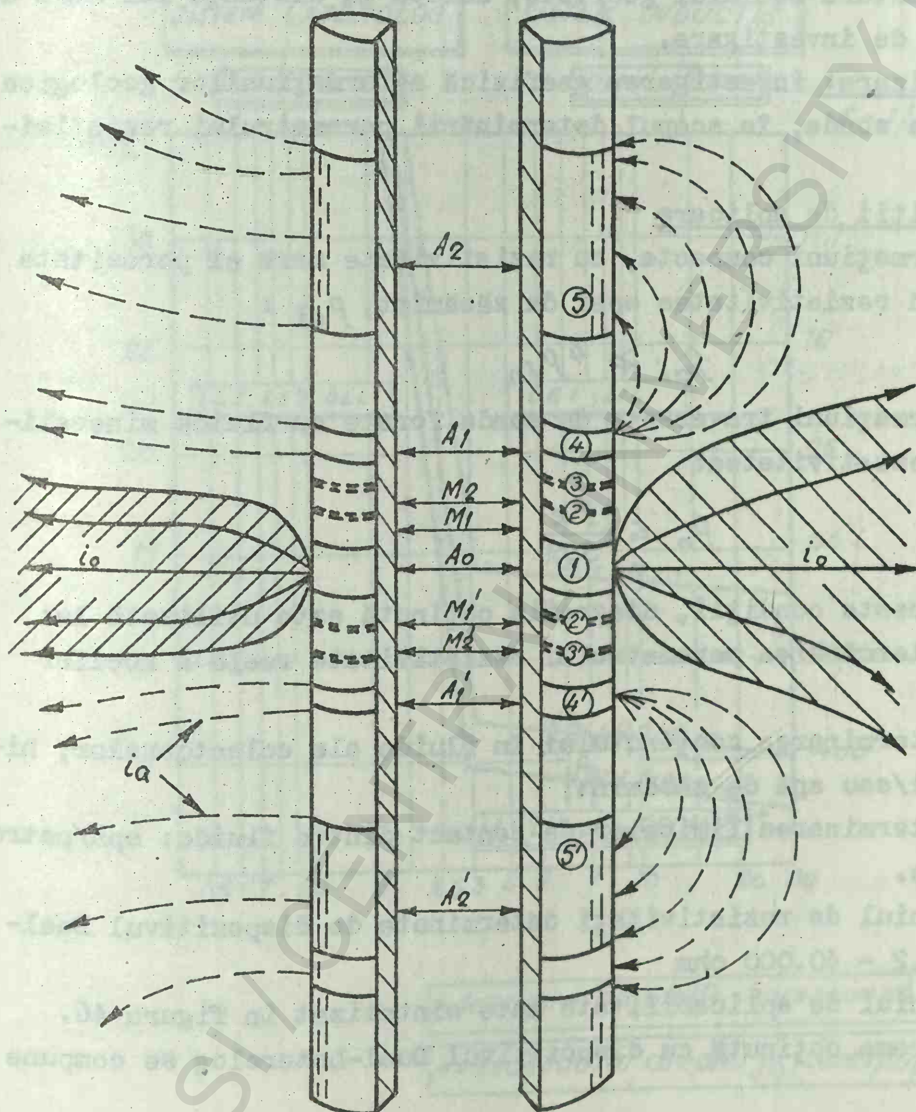


Fig. 45

acestui cîmp se asigură cele două tipuri de investigare:

a) investigare superficială, cînd liniile de curent ale cîmpului de focalizare sînt emise de electrozii nr.4 şi 4' (respectiv A_1 şi A_1') şi se întorc la electrozii nr.5 şi 5' (respectiv A_2 şi A_2');

b) investigare adîncă, cînd liniile de curent ale cîmpului de focalizare sînt emise de electrozii nr. 4 şi 4' (respectiv A_1 şi A_1') scurtcircuitaţi cu electrozii nr.5 şi 5' (respectiv A_2 şi A_2') şi se întorc la armătura cablului geofizic, aflată la distanţă mai mare de dispozitivul de investigare.

<u>Utilizare:</u> investigarea geofizică a formaţiunilor geologice traversate de sonde, în scopul determinării parametrului rezistivitate.

<u>Condiţii de aplicare</u>

- formaţiuni compacte, cu rezistivitate mare şi porozitate redusă, avînd rezistivitatea apei de zăcămînt, ρ_{ai} :

$$\rho_{ai} \geq 4\rho_{fn}$$

- formaţiuni traversate de sonde forate cu fluide mineralizate avînd rezistivitatea:

$$\rho_n \leq \frac{\rho_R}{50}$$

In aceste condiţii, diagrafia obţinută este utilizată la:

- determinarea parametrului rezistivitate reală a rocilor colectoare;
- determinarea conţinutului în fluide ale colectoarelor; hidrocarburi şi/sau apă de zăcămînt;
- determinarea limitelor de contact dintre fluide: apă/petrol sau apă/gaze.

Domeniul de rezistivităţi determinate de dispozitivul Dual-Laterolog: 0,2 - 40.000 ohm

Domeniul de aplicabilitate este sintetizat în figura 46.

Diagrama obţinută cu dispozitivul Dual-Laterolog se compune din:

- o curbă de rezistivitate înregistrată cu dispozitiv cu investigare adîncă ρ_{LL_a} ;
- o curbă de rezistivitate înregistrată cu dispozitiv cu investigare superficială ρ_{LL_s} ;
- o curbă de rezistivitate înregistrată cu un microdispozitiv focalizat ρ_{MLL}.

Cele trei curbe sînt înscrise pe trasa din dreapta a diagramei, valorile de rezistivitate fiind înscrise în scară logaritmică (Anexa B.8).

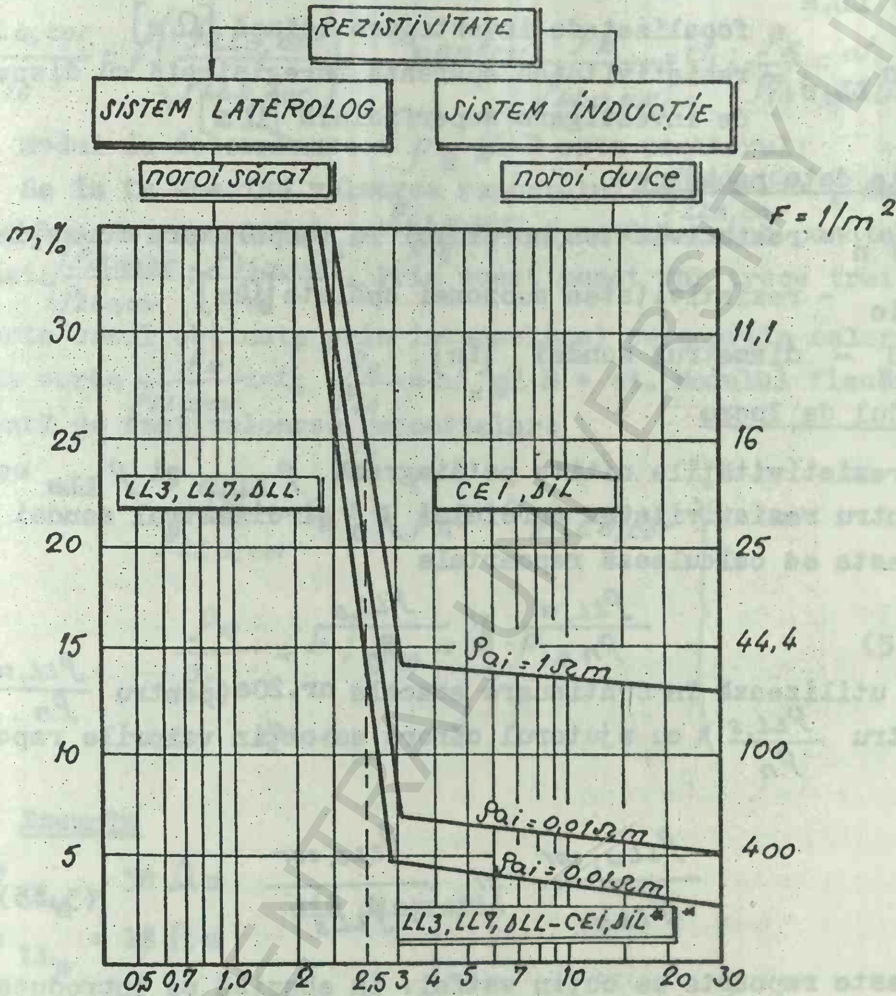


Fig. 46

LUCRAREA NR. 8

DETERMINAREA REZISTIVITĂȚII REALE ρ_R SI A DIAMETRULUI DE INVAZIE, D, DIN DLL

Date citite din diagrafie:

- $\rho_{LL,a}$ - rezistivitatea aparentă înregistrată cu dispozitiv focalizat de investigare adîncă $[\Omega m]$
- $\rho_{LL,s}$ - rezistivitatea aparentă înregistrată cu dispozitiv de investigare superficială $[\Omega m]$

Alte date necesare:

- ρ_n - rezistivitatea noroiului la temperatura formației $[\Omega m]$
- ρ_{io} - rezistivitatea subzonei spălate $[\Omega m]$
- d - diametrul sondei $[in]$

Modul de lucru

- rezistivitățile citite pe diagramă $\rho_{LL,a}$ și ρ_{LLs} se vor corecta pentru rezistivitatea noroiului ρ_n și diametrul sondei d. Pentru aceasta se calculează rapoartele

$$\frac{\rho_{LL,a}}{\rho_n} \quad \text{și} \quad \frac{\rho_{LL,s}}{\rho_n}$$

Se utilizează în continuare abacele nr.20a(pentru $\frac{\rho_{LL,a}}{\rho_n}$) și nr.20b(pentru $\frac{\rho_{LL,s}}{\rho_n}$) cu ajutorul cărora se obțin valorile rapoartelor

$$\frac{\rho_{LLa,cor}}{\rho_{LLa}} \quad \text{și} \quad \frac{\rho_{LLs,cor}}{\rho_{LLs}} \tag{3.45}$$

Aceste rapoarte se obțin astfel: in abscisă se introduce valoarea raportului $\frac{\rho_{LL}}{\rho_n}$ și se ridică o verticală pînă intersectează curba al cărui modul este egal cu diametrul sondei. Din punctul de intersecție se duce o orizontală iar în ordonată se citește valoarea rapoartelor.

Dacă

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{\rho_{LLa,cor}}{\rho_{LLa}} = A \quad \text{și} \quad \dfrac{\rho_{LLs,cor}}{\rho_{LLs}} = B \\ \text{rezultă că} \\ \rho_{LLa,cor} = A \cdot \rho_{LLa} \quad \text{și} \quad \rho_{LLs,cor} = B \cdot \rho_{LLs} \end{array}\right\} \tag{3.46}$$

Cu aceste valori corectate se vor calcula rapoartele:

$$\frac{\rho_{LLs,cor}}{\rho_{io}} \quad \text{și} \quad \frac{\rho_{LLa,cor}}{\rho_{io}}$$

In continuare se va folosi abaca nr.21 care dă dependenţa:

$$\frac{\rho_{LLa,cor}}{\rho_{io}} = f\left(\frac{\rho_{LLa,cor}}{\rho_{LLs,cor}}\right) \quad pentru \ \frac{\rho_R}{\rho_{LLa,cor}} = ct.; \ \frac{\rho_R}{\rho_{io}} = ct. \ și \ D = ct. \quad (3.47)$$

Modul de determinare a ρ_R şi D este următorul:

Se ia în abscisă valoarea raportului $\frac{\rho_{LLa,cor}}{\rho_{LLs,cor}}$, iar în ordonată valoarea raportului $\frac{\rho_{LLa,cor}}{\rho_{io}}$ şi se determină punctul P de coordonate $\left(\frac{\rho_{LLa,cor}}{\rho_{LLs,cor}}; \frac{\rho_{LLa,cor}}{\rho_{io}}\right)$. Prin acest punct vor trece trei curbe (dacă este cazul obţinute prin interpolare) ce aparţin celor trei familii de curbe $\frac{\rho_R}{\rho_{LLa,cor}} = ct.$; $\frac{\rho_R}{\rho_{io}} = ct.$ şi D = ct. Modulul fiecărei curbe reprezintă de fapt valoarea rapoartelor:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\rho_R}{\rho_{LLa,cor}} = a; \ \rho_R = a \cdot \rho_{LLa,cor} \\ &\frac{\rho_R}{\rho_{io}} = b; \ \rho_R = b \cdot \rho_{io} \\ &iar \quad D = c \end{aligned}\right\} \quad (3.48)$$

Exemplu

$\rho_{LL_a} = 38\ \Omega m$ — din diagrafie

$\rho_{LL_s} = 16\ \Omega m$

$\rho_{io} = 3\Omega m$ - din microlaterolog

$\rho_n = 0,2\Omega m$ - la temperatura formaţiei

d = 8" - din cavernogramă

$$\frac{\rho_{LL_s}}{\rho_n} = \frac{16}{0,8} = 80 \qquad \frac{\rho_{LL_a}}{\rho_n} = \frac{38}{0,2} = 190$$

$$\frac{\rho_{LL_{s,cor}}}{\rho_{LL_s}} = 0,99 \qquad \rho_{LL_{s,cor}} = 16 \cdot 0,99 = 15,84$$

$$\frac{\rho_{LL_{a,cor}}}{\rho_{LL_a}} = 0,97 \qquad \rho_{LL_{a,cor}} = 38 \cdot 0,97 = 36,86$$

$$\frac{\rho_{LL_{a,cor}}}{\rho_{LL_{s,cor}}} = \frac{36,86}{15,84} = 2,3 \quad ; \quad \frac{\rho_{LL_{a,cor}}}{\rho_{io}} = \frac{36,86}{3} = 12,3$$

$$\frac{\rho_R}{\rho_{io}} = 14,7 \Longrightarrow \rho_R = 3 \cdot 14,7 = 44,1$$

$$D = 38" = 0,96 \text{ m}$$

Datele obţinute se cumulează în tabelul de mai jos:

Nr. str.	H_{med}	h	ρ_{LLa}	ρ_{LLs}	ρ_{io}	ρ_n	d	$\rho_{LLa,cor}$	$\rho_{LLs,cor}$	$\frac{\rho_{LLa,cor}}{\rho_{LLs,cor}}$	$\frac{\rho_{LLa,cor}}{\rho_{io}}$	ρ_R	D
1	1700	5	38	16	3	0,2	8	36,86	15,84	2,3	12,3	44,1	0,96

E X E R C I T I I

Să se determine rezistivitatea reală ρ_R, şi diametrul zonei de învazie D, din diagrafia DLL,(anexa B.8) pentru stratele poroase-permeabile cunoscînd: $\rho_n = 0,2\Omega m$; d = 8" şi $\rho_{io} = 3\Omega m$

3.8. Carotajul electric de inducţie

Pentru a extinde domeniul de aplicabilitate al metodelor electrice şi a depăşi limitările care interveneau în situaţia sondelor săpate cu noroaie neconductive s-a introdus metoda inductivă de cercetare a sondelor (Doll-1949).

Investigarea formaţiunilor se face cu ajutorul curenţilor induşi în mediul înconjurător, în acest caz nefiind necesar un contact direct al dispozitivului de măsură cu rocile traversate, contact realizat în celelalte metode de noroiul de foraj.

Cîmpul electromagnetic este produs de un dispozitiv de investigare reprezentat schematic în figura 47.

Dispozitivul de investigare este compus dintr-o bobină trans-

miţătoare T şi o bobină receptoare R, montate pe un suport electro-izolant.

Bobina transmiţătoare este alimentată de la generatorul electronic G.E. cu un curent alternativ, de frecvenţă înaltă - 20 kHz.

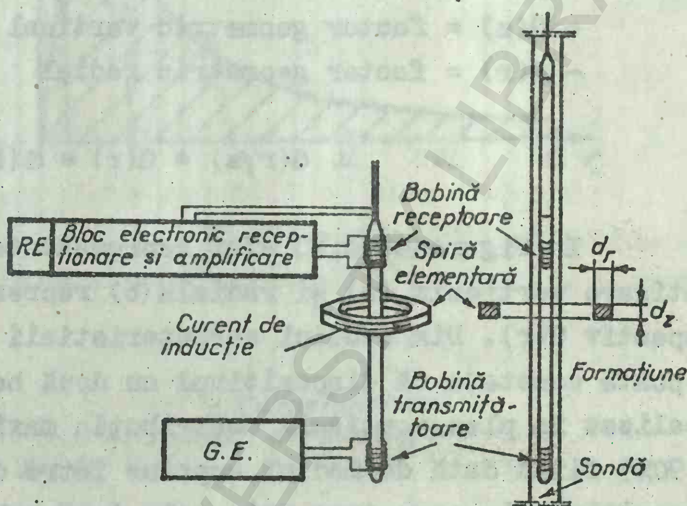


Fig.47. Dispozitiv de carotaj inductiv

Acest curent induce de-a lungul axului bobinei un cîmp magnetic, denumit cîmp magnetic primar sau direct. Cîmpul magnetic primar se propagă în mediu, dînd naştere unor curenţi cu parcurs circular, în plane perpendiculare pe axul dispozitivului, de genul curenţilor turbionari (curenţi Foucault). Aceşti curenţi, care au fost denumiţi curenţi Eddy şi a căror intensitate este proporţională cu conductivitatea mediului produc un cîmp magnetic secundar de-a lungul axului dispozitivului.

Cîmpul magnetic secundar induce la rîndul său în bobina receptoare dispusă la o distanţă L de bobina transmiţătoare, o tensiune electromotoare, de asemenea proporţională cu conductivitatea mediului.

Această tensiune este recepţionată de receptorul electronic RE şi, după selectarea componentei în fază cu curentul transmiţătorului, se transmite la suprafaţă un curent proporţional cu conductivitatea rocilor înconjurătoare.

Semnalul total măsurat este dat de expresia

$$e = k \iint_S G(r,z)\, \nabla(r,z)\, ds \qquad (3.49)$$

unde: e - forţa electromotoare indusă în bobina receptoare

k - constantă care depinde de particularităţile constructive ale dispozitivului şi regimului de lucru

G(r,z) - factor geometric şi reprezintă contribuţia fiecărui punct al mediului de coordonate (r,z) la semnalul total al bobinei receptoare

∇ - conductivitatea electrică a mediului.

Pentru a se putea studia influenţa în plan vertical şi în plan orizontal, factorul geometric definit mai sus poate fi descompus în două componente:

- G(z) = factor geometric vertical
- G(r) = factor geometric radial

$$G(r,z) = G(r) \cdot G(z) \qquad (3.50)$$

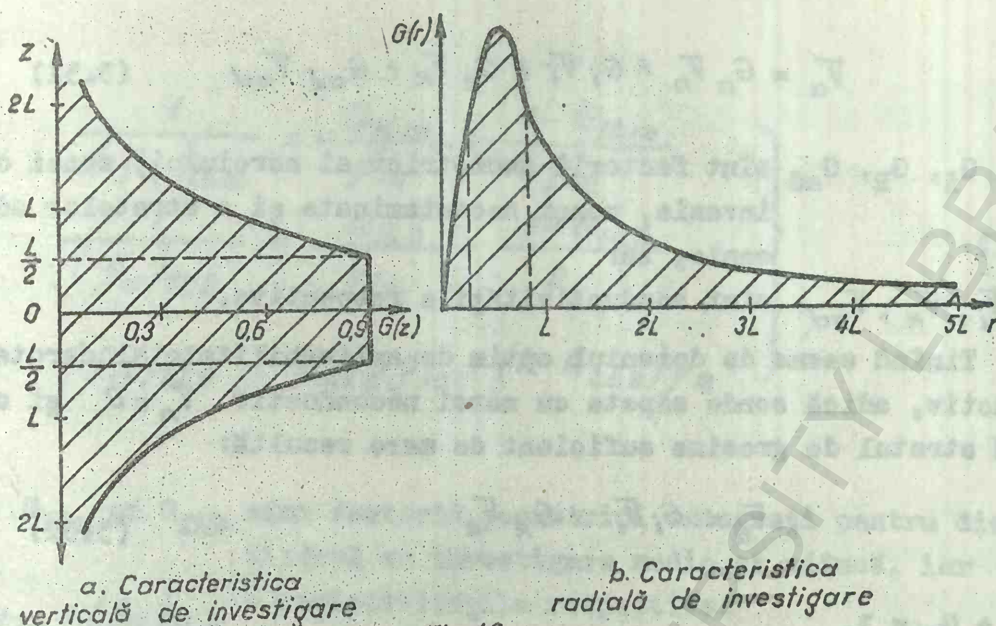
In figura (48 a,b) sînt reprezentate caracteristicile de investigare verticală (a) şi radială (b) reprezentînd dependenţa G(z), respectiv G(r). Din studiul caracteristicii de investigare verticală se poate constata că dispozitivul cu două bobine este un dispozitiv focalizat în plan vertical, contribuţia maximă asupra semnalului (circa 90%) fiind dată de mediul cuprins între două plane normale pe axul dispozitivului, care trec prin cele două bobine, respectiv pe o distanţă egală cu L = lungimea dispozitivului.

Din studiul caracteristicii de investigare radială, se poate preciza că, contribuţia maximă a mediului este dată de zona cuprinsă între 0,25L şi 0,80 L faţă de axul dispozitivului.

Pentru îmbunătăţirea caracteristicii de investigare radială a dispozitivului cu două bobine este necesar să se micşoreze partea de semnal de la sondă în raport cu semnalul de la zona necontaminată pentru care este necesară creşterea lungimii dispozitivului. Pentru a îmbunătăţi caracteristica verticală de investigare a aceluiaşi dispozitiv este necesar a micşora partea de semnal de la rocile adiacente în raport cu semnalul de la stratul în faţa căruia se află dispozitivul, ceea ce înseamnă o micşorare a dispozitivului.

Pentru rezolvarea acestei probleme, în practică se utilizează dispozitive cu mai multe bobine, aşa numitele dispozitive focalizate. Aceste dispozitive sînt formate din două bobine principale (bobină transmiţătoare, T, şi bobina receptoare, R) şi trei sau patru bobine de focalizate. Cele două dispozitive utilizate curent în practică sînt redate în tabelul de mai jos.

Dispozitivul	Bobine principale	Bobine de focalizare	Lungimea dispozitivului	Raza de investigare	Observaţii
5 FF 40	2(T,R)	3	L= 40"(≈1m)	r_i=2-3,5m	Dispozitiv cu investigare medie
6 FF 40	2(T,R)	4	L= 40"(≈1m)	r_i=3,5-5m	Dispozitiv cu investigare adîncă



a. Caracteristica verticală de investigare

b. Caracteristica radială de investigare

Fig. 48

Ponderea cu care zona invadată cu diametrul D, contribuie la forţa electromotoare totală indusă în bobina receptoare R, este redată în abaca nr.22.

Se utilizează următoarele dispozitive de investigare:

a) Dispozitive simple de carotaj inductiv - Carotajul electric de inducţie.

In carotajul electric de inducţie se înregistrează:

1) o curbă de potenţial spontan - P.S.

2) o curbă de rezistivitate înregistrată cu dispozitiv potenţial scurt

$$\rho_{0,4} - \left[\overline{AM} = 0{,}4 \text{ m(16 inch)};\ (\rho_{16})\right]$$

3) o curbă de conductivitate σ_a înregistrată cu dispozitiv cu investigare adîncă - 6 FF 40

4) o curbă de rezistivitate (reciprocata) $\rho_{aI} = \frac{1}{\sigma_a}$

Cele două curbe de rezistivitate sînt înscrise pe prima coloană a trasei duble din dreapta diagramei (—— $\rho_{0,4}$; ---- ρ_{i_L}). Valorile de rezistivitate cresc de la stînga la dreapta (scara ohmică este 2Ωm/div) Pe cea de-a doua coloană se înregistrează curba de conductivitate (—— σ_A) cu valori crescătoare de la dreapta la stînga (scara 100 mmho/m). Pe trasa simplă din stînga se înscrie curba de P.S. Acest mod de prezentare este redat în anexa B.9.

In stratele de grosime finită, în prezenţa zonei de invazie cu filtrat de noroi, conductivitatea măsurată este:

$$\sigma_a = G_n \sigma_n + G_i \sigma_i + G_R \sigma_R + G_{ad} \sigma_{ad} \qquad (3.51)$$

unde G_n, G_i, G_R, G_{ad} sînt factorii geometrici ai noroiului, zonei de invazie, zonei necontaminate şi a stratelor adiacente, iar

σ_n, σ_i, σ_R, σ_{ad} sînt conductivităţile respective.

Ţinînd seama de domeniul optim de aplicabilitate al carotajului inductiv, adică sonde săpate cu noroi neconductiv $\sigma_n = 0$ şi considerînd stratul de grosime suficient de mare rezultă:

$$\sigma_a = G_i \sigma_i + G_R \sigma_R \qquad (3.52)$$

dar $G_i + G_R = 1$.

Rezultă că

$$\sigma_a = G_i \sigma_i + (1 - G_i) \sigma_R \qquad (3.53)$$

de unde

$$\left.\begin{aligned} \sigma_R &= \frac{\sigma_a - G_i \sigma_i}{1 - G_i} \\ \text{sau} \quad \frac{1}{\rho_{aI}} &= \frac{G_i}{\rho_i} + \frac{1 - G_i}{\rho_R} \end{aligned}\right\} \qquad (3.54)$$

Relaţia (3.54) conduce la determinarea rezistivităţii reale din datele carotajului electric inductiv.

3.9. Carotajul inductiv + Laterolog
(Dual-inducţie-laterolog - D.I.L)

Dispozitivul combinat numit - DUAL INDUCTIE-LATEROLOG, utilizează un dispozitiv de investigare adîncă 6 FF 40, un dispozitiv cu investigare medie 5 FF 40 şi un dispozitiv focalizat cu investigare superficială LL_s (laterolog superficial $S < 2,5$).

Răspunsul celor trei dispozitive este redat sub forma a trei curbe de rezistivitate în funcţie de adîncime. Valorile de rezistivitate înregistrate sînt determinate de raza de investigaţie a fiecărui dispozitiv. Forma de reprezentare a diagrafiei este redată în anexa B10

Pentru determinarea rezistivităţii este utilizat următorul sistem de ecuaţii:

$$\left.\begin{aligned} \frac{1}{(\rho_a)_{ILm}} &= \frac{G_{ILm}}{\rho_{io}} + \frac{1-G_{ILm}}{\rho_R} \\ \frac{1}{(\rho_a)_{ILD}} &= \frac{G_{ILD}}{\rho_{io}} + \frac{1-G_{ILD}}{\rho_R} \\ (\rho_a)_{LLs} &= G_{LLs}\,\rho_{io} + (1-G_{LLs})\,\rho_R \end{aligned}\right\} \quad (3.55)$$

unde: G_{ILm} şi G_{ILD} sînt factorii geometrici integraţi pentru dispozitivul cu investigare medie şi adîncă, iar $(\rho_a)_{ILm}$, $(\rho_a)_{ILD}$ - rezistivităţile respective.

LUCRAREA NR. 9

DETERMINAREA REZISTIVITATII REALE, ρ_R, DIN CAROTAJUL ELECTRIC INDUCTIV

Pornind de la relaţia (3.54) şi admiţînd că zona de pătrundere a filtratului de noroi este omogenă, cu o rezistivitate egală cu cea a subzonei spălate, se poate scrie:

$$\frac{1}{\rho_{aI}} = \frac{G_i}{\rho_{io}} + \frac{1-G_i}{\rho_R} \qquad (3.56)$$

Din relaţia (3.56), rezultă că pentru determinarea rezistivităţii reale trebuie cunoscute valorile: factorului geometric, G_i, rezistivităţii subzonei spălate, ρ_{io}, şi rezistivitatea aparentă, ρ_A, din carotajul de inducţie.

Lucrarea se desfăşoară în următoarele etape:

a) Citirea valorilor de rezistivitate aparentă din diagrafie:

$\rho_{16"}$ - rezistivitatea aparentă înregistrată cu dispozitivul potenţial AM = 16 inch (0,4 m)Ωm; valoarea se citeşte în punctul de maxim al amplitudinii curbei de rezistivitate în dreptul stratului analizat;

ρ_{aI} - rezistivitatea din inducţie (reciprocata)Ωm; sau

σ_i - conductivitatea m℧/m .

Valorile se citesc în punctele de maxim ale curbei de rezistivitate sau conductivitate.

Dacă se cunoaşte numai σ_i , ρ_A se determină cu relaţia

$$\rho_{aI} = \frac{1000}{\sigma_i} \text{ , } \Omega m \qquad (3.57)$$

ρ_{ad} - rezistivitatea stratului adiacent, Ω m; se citeşte pe curba de rezistivitatea din inducţie, eventual pe curba de rezistivitate înregistrată cu dispozitivul potenţial $\overline{AM}$ = 16" în dreptul unui strat de argilă sau marnă.

b) Alte date necesare:

h - grosimea stratului, m - determinată de regulă de pe curba de P.S. sau curba gama natural.

ρ_{io} - rezistivitatea subzonei spălate, Ω m - determinată din mi-

crocarotaj sau microlaterolog;

ρ_n - rezistivitatea noroiului, Ωm - corectată cu temperatura formaţiei;

d - diametrul sondei [în sau mm] - din cavernogramă (dacă nu este înregistrată cavernograma se poate face aproximaţia $d = d_n$; unde d_n este diametrul sapei);

D - diametrul de invazie [in sau mm] - estimat din altă metodă

Procedeul de determinare

Valoarea rezistivităţii reale se poate determina utilizînd două căi şi anume:

A) Se efectuează corecţia rezistivităţii aparente, ρ_{aI}, pentru grosimea stratului şi rezistivitatea stratului adiacent, ρ_{ad}, cu una din abacele 23, 24, 25, 26.

In funcţie de valoarea ρ_{ad}, se alege abaca cu ajutorul căreia se face corecţia rezistivităţii. Abacele au în ordonată valori ale rezistivităţii corectate iar în abscisă valori ale grosimii stratului. Ele conţin curbe pentru ρ_{aI} = ct (modulul acestor curbe indică rezistivitatea citită pe diagrafie). Cele patru abace sînt construite pentru rezistivităţi ale rocii adiacente egale cu 1;2;4;10 Ωm.

In abscisă se introduce valoarea grosimii stratului şi se deplasează vertical pînă intersectează curba al cărui modul este egală cu ρ_{aI}. Din punctul de intersecţie se duce o orizontală şi în ordonată se citeşte valoarea rezistivităţii corectate; $\rho_{aI,cor}$.

Avînd determinate valorile $\rho_{aI,cor}$, ρ_{io} şi G_i se calculează ρ_R, cu relaţia

$$\rho_R = \frac{\rho_{aI,cor} \cdot \rho_{io} (1 - G_i)}{\rho_{io} - G_i \, \rho_{aI,cor}} \qquad (3.58)$$

Valoarea lui G_i se determină în funcţie de D, cu ajutorul abacei nr. 22

Exemplu

Se cunosc următoarele valori :

ρ_I = 10 Ωm (din diagrafie)

ρ_{arg} = 1 Ωm (citită pe curba de rezistivitate din inducţie în dreptul unui strat de argilă)

h = 2 m (din microcarotaj)

ρ_{io} = 34,5 Ωm (din microcarotaj)

D = 61 cm

$\rho_{i,cor} = 7,6\ \Omega m$

$G_i = 0$ pentru D = 61 cm (Abaca nr.22)

Aplicînd relaţia (3.58) se determină:

$$\rho_R = \frac{7,6 \cdot 34,5}{34,5} = 7,6\Omega m$$

B) Rezistivitatea reală se poate determina în funcţie de $\rho_{I,cor}$, $\rho_{16'',cor}$ şi ρ_{io} astfel:

a) $-\rho_{i,cor}$ – se obţine ca în cazul 1.

$-\rho_{16'',cor}$ – reprezintă valoarea rezistivităţii obţinută cu dispozitivul potenţial $\overline{AM}$ = 0,4 m (16") corectată pentru efectul coloanei de noroi. Această corecţie se efectuează cu abaca nr.

Abaca nr.27 are în ordonată valori ale raportului $\rho_{16''}/\rho_n$, iar în abscisă valori ale raportului $\rho_{16,cor}/\rho_n$. Abaca conţine o serie de curbe al căror modul este egal cu diametrul sondei, d,

Modul de lucru este:

- Se calculează raportul $\rho_{16''}/\rho_n$ şi se introduce în ordonata abacei, deplasîndu-se orizontal pînă intersectează curba al cărui modul este egal cu diametrul sondei. Din punctul de intersecţie se coboară o verticală şi în abscisă se citeşte valoarea raportului

$$\rho_{16,cor}/\rho_n = m.$$

Rezultă că:

$$\rho_{16,cor} = m \cdot \rho_n \qquad (3.59)$$

b) Se calculează rapoartele $\dfrac{\rho_{io}}{\rho_{I,cor}}$ şi $\dfrac{\rho_{io}}{\rho_{16'',cor}}$

Pentru obţinerea rezistivităţii reale se utilizează abaca nr. 28.

In abscisă sînt înscrise valori ale raportului $\dfrac{\rho_{io}}{\rho_{16''}}$, iar în ordonată valori ale raportului $\dfrac{\rho_{io}}{\rho_{I,cor}}$. Abaca conţine două serii de curbe pentru $\dfrac{\rho_{io}}{\rho_R}$ = ct şi D_i = ct.

Modul de lucru este următorul:

Se plasează valorile celor două rapoarte $\rho_{io}/\rho_{i,cor}$ şi

$\rho_{io}/\rho_{16,cor}$ în ordonată şi respectiv în abscisă, obţinîndu-se un punct P de coordonate $\left(\frac{\rho_{io}}{\rho_{i,cor}}, \frac{\rho_{io}}{\rho_{16'',cor}}\right)$. Prin acest punct P, vor trece două curbe (dacă este cazul duse prin interpolare). O curbă al cărui modul va corespunde raportului ρ_{io}/ρ_R = M. De unde se poate determina

$$\rho_R = \frac{\rho_{io}}{M} \tag{3.60}$$

Exemplu

Se dau: $\rho_{16''} = 19{,}5\,\Omega m$

$\rho_{aI} = 10\,\Omega m$

$\rho_{arg} = 1\,\Omega m$

$\rho_n = 1{,}3\,\Omega m$

d = 254 mm

h = 2 m

$\rho_{io} = 34{,}5\,\Omega m$

Rezolvare

$\rho_{a,I\ cor} = 7{,}6\,\Omega m$

$$\frac{\rho_{16''}}{\rho_n} = \frac{19{,}5}{1{,}3} = 15\,\Omega m$$

$$\frac{\rho_{16'',cor}}{\rho_n} = 14{,}5 \quad (\text{Abaca nr. } 27)\ \rho_{16'',cor} = 14{,}5 \cdot 1{,}3 = 18{,}85$$

$$\frac{\rho_{io}}{\rho_{a,I\ cor}} = \frac{34{,}5}{7{,}6} = 4{,}5$$

$$\frac{\rho_{io}}{\rho_{16'',cor}} = \frac{34{,}5}{18{,}85} = 1{,}8$$

Utilizînd abaca nr. 28 rezultă că

$$\frac{\rho_{io}}{\rho_R} = 4{,}5 \Longrightarrow \rho_R = \frac{34{,}5}{4{,}5} = 7{,}6\,\Omega m$$

D = 24" = 609,6 mm ≈ 61 cm

E X E R C I T I I

Să se determine rezistivitatea reală şi diametrul zonei de invazie pentru stratele poroase permeabile cuprinse în diagrama din anexa B.9. Rezultatele se vor cumula într-un tabel de forma:

Nr. str.	Intervalul $(H_{inf} \div H_{sup})$	$\rho_{16''}$	ρ_{aI}	ρ_{arg}	ρ_n	ρ_{io}	h	d	$\rho_{aI,cor}$	$\rho_{16'',cor}$	$\frac{\rho_{io}}{\rho_{aI,cor}}$	$\frac{\rho_{io}}{\rho_{16'',cor}}$	$\frac{\rho_{io}}{\rho_R}$	ρ_R	D

LUCRAREA NR. 10

DETERMINAREA ρ_R SI D DUPA CURBELE CAROTAJULUI "DUAL INDUCTIE-LATEROLOG"

Din diagrafie se citesc următoarele date de rezistivitate:

- ρ_{I_a} – rezistivitatea aparentă înregistrată cu dispozitiv de inducţie cu investigare adîncă (DI_a)
- ρ_{I_m} – rezistivitatea aparentă înregistrată cu dispozitiv de inducţie medie (DI_m)
- ρ_{LL_s}, (ρ_{LL_8}) – rezistivitatea aparentă înregistrată cu dispozitiv focalizat cu investigare superficială (DL_s).

Pentru prelucrarea datelor citite din diagrafia (DIL) este necesar să se cunoască rezistivitatea subzonei spălate ρ_{io} din microcarotaj sau microlaterolog.

Practic pentru determinarea rezistivităţii reale se foloseşte abaca nr.29 dacă $\rho_R < \rho_{io}$ sau abaca nr.30 dacă $\rho_R > \rho_{io}$. De fapt aceste abace dau dependenţa:

$$\text{Abaca nr.29} \quad \frac{\rho_{LLs}}{\rho_{Ia}} = f\left(\frac{\rho_{Im}}{\rho_{Ia}}\right) \quad \text{pentru } \frac{\rho_{io}}{\rho_R} = ct.;\ \frac{\rho_R}{\rho_{Ia}} = ct.;\ D = ct. \tag{3.61}$$

$$\text{Abaca nr.30} \quad \frac{\rho_{Ia}}{\rho_{io}} = f\left(\frac{\rho_{Ia}}{\rho_{Im}}\right) \quad \text{pentru } \frac{\rho_{io}}{\rho_R} = ct.;\ \frac{\rho_R}{\rho_{Ia}} = ct.;\ D = ct. \tag{3.62}$$

Pentru $\rho_R < \rho_{io}$ din relaţiile de dependenţă (abaca nr.29) rezultă că sînt necesare valorile următoarelor rapoarte:

$$\frac{\rho_{LLs}}{\rho_{Ia}}\ ;\ \frac{\rho_{Im}}{\rho_{Ia}}$$

<u>Modul de lucru</u>: Abaca nr.29 are înscrise în ordonată valori ale raportului $\frac{\rho_{LLs}}{\rho_{Ia}}$ iar în abscisă valori ale raportului $\frac{\rho_{Im}}{\rho_{Ia}}$. Abaca conţine trei familii de curbe pentru $\frac{\rho_{io}}{\rho_R}$ = ct.; $\frac{\rho_R}{\rho_{Ia}}$ = ct şi D = ct.

Valorile rapoartelor $\frac{\rho_{LLs}}{\rho_{Ia}}$ şi $\frac{\rho_{Im}}{\rho_{Ia}}$ se înscriu în ordonata respectiv în abscisă şi se determină punctul de coordonate $P\left(\frac{\rho_{LLs}}{\rho_{Ia}};\frac{\rho_{Im}}{\rho_{Ia}}\right)$

Prin acest punct trec trei curbe din cele trei familii al căror modul va fi valoarea rapoartelor

$$\frac{\rho_{io}}{\rho_R} = M\quad ;\quad \frac{\rho_R}{\rho_{Ia}} = N\ ;\quad D = L$$

Din relaţiile de mai sus rezultă simplu valoarea rezistivităţii reale

$$\rho_R = \frac{\rho_{io}}{M} \quad \text{sau} \quad \rho_R = N \cdot \rho_{ia} \qquad (3.63)$$

şi valoarea diametrului de invazie ca fiind egală cu modulul curbei ce trece prin punctul P.

Pentru $\rho_R > \rho_{io}$ se procedează în mod asemănător cu singura deosebire că în ordonata abacei se înscrie valoarea raportului $\frac{\rho_{Ia}}{\rho_{io}}$ iar în abscisă valoarea raportului $\frac{\rho_{Ia}}{\rho_{io}}$.

Este indicat ca datele de interpretare să se treacă într-un tabel de forma:

pentru $\rho_R < \rho_{io}$

Nr. str.	Adîncimea medie [m]	ρ_{LLs} [Ωm]	ρ_{Im} [Ωm]	ρ_{Ia} [Ωm]	$\frac{\rho_{LLs}}{\rho_{Ia}}$	$\frac{\rho_{Im}}{\rho_{Ia}}$	M	N	ρ_R [Ωm]	D [m]	ρ_{io} [Ωm]

pentru $\rho_R > \rho_{io}$

Nr. str.	Adîncimea medie [m]	ρ_{io} [Ωm]	ρ_{Im} [Ωm]	ρ_{Ia} [Ωm]	$\frac{\rho_{Ia}}{\rho_{io}}$	$\frac{\rho_{Ia}}{\rho_{Im}}$	M	N	ρ_R [Ωm]	D [m]

Exemplu

$\rho_{Ia} = 2\Omega m$ $\qquad$ $\rho_{Im} = 2{,}5\Omega m$

$\rho_{LL_s} = 10\Omega m$ $\qquad$ $\rho_{io} = 18{,}5\Omega m$

Se calculează rapoartele:

$$\frac{\rho_{LLs}}{\rho_{Ia}} = \frac{10}{2} = 5\,\Omega m \quad ; \quad \frac{\rho_{Im}}{\rho_{Ia}} = \frac{2{,}5}{2} = 1{,}25\,\Omega m$$

Utilizînd abaca nr. , se obţin valorile următoare:

$$\frac{\rho_{io}}{\rho_R} = 9{,}5 \qquad D = 32'' \approx 0{,}8\ m$$

$$\rho_R = \frac{\rho_{io}}{9{,}5} = \frac{18{,}5}{9{,}5} = 1{,}9\,\Omega m$$

E X E R C I T I I

Să se determine rezistivitatea reală ρ_R şi diametrul zonei de invazie pentru strate poroase-permeabile cuprinse în diagrama B.10.

CAPITOLUL IV

CAROTAJUL RADIOACTIV

Metodele de investigare geofizică a sondelor bazate pe fenomenele de radioactivitate naturală sau provocată a rocilor sînt cunoscute sub denumirea generală de carotaj radioactiv.

4.1. Radioactivitatea naturală a rocilor

Rocile posedă o radioactivitate naturală condiţionată de dezintegrarea nucleelor unor elemente radioactive, care intră în constituţia rocilor şi care aparţin seriilor radioactive ale uraniului ($_{92}U^{238}$, $_{92}U^{235}$), thoriului ($_{90}Th^{232}$) precum şi izotopului radioactiv al potasiului $_{19}K^{40}$. Aceste radioelemente emit în mod spontan radiaţii α, β şi γ.

Datorită caracteristicilor lor de absorbţie şi penetraţie, (vezi tabelul 4.2.), dintre radiaţiile emise, cele ce interesează în investigarea sondelor sînt radiaţiile gama.

Rocile sedimentare tipice zăcămintelor de hidrocarburi, funcţie de modul lor de formare şi de originea materialului fragmentar constituient, se diferenţiază net după radioactivitatea naturală.

Tabelul 4.1.

Nivelul radioactivităţii	Conţinut în elemente rad. $\mu\mu g$ Ra echiv/t rocă	R o c i
Foarte mic	≤1	anhidrite, cărbuni, sare gemă, gips
Mic	2 - 10	nisipuri, gresii, calcare, dolomite
Mediu	10 - 20	argile continentale (ape de mică adîncime) marne, argile calcaroase şi nisipoase
Mare	20 -80	săruri de potasiu, argile fin dispersate (ape de mare adîncime)
Foarte mare	>80	bentonite, cenuşe vulcanice, şisturi bituminoase şi argiloase, nisipuri monazitice, calcare uranifere, nisipuri şi gresii glauconitice.

Pentru rocile nisipoase şi carbonatice este caracteristică creşterea radioactivităţii cu creşterea conţinutului în argilă. O creştere a radioactivităţii s-a observat la rocile carbonatate în zonele în

care au avut loc procese de dolomitizare.

Rocile eruptive acide (granite, granodiorite) se caracterizează printr-un grad mare de radioactivitate datorită conţinutului lor în potasiu şi în elemente din seriile uraniului şi thoriului.

Rocile bazice şi ultrabazice au un nivel scăzut de radioactivitate.

Unităţile de măsură a radioactivităţii rocilor sînt redate în tabelul 4.3.

Diferenţierea rocilor după radioactivitatea lor naturală stă la baza folosirii acestui parametru la studiul formaţiunilor traversate de sonde.

Scurtă caracterizare a radiaţiilor emise de radioelementele naturale (după A. Neguţ)

Tabelul 4.2.

Radiaţia	Natura	Caracteristici
α	Sînt nuclee de heliu ($2He^4$) dublu ionizaţi expulzaţi de anumite nuclee $_{88}Ra^{226} \longrightarrow {}_{86}Rn^{222} + {}_2He^4(\alpha)$	Au o mare putere de ionizare şi o mică putere de penetraţie. Nu se pot detecta în sondă. Sînt deviate de un cîmp electric şi magnetic.
β	Sînt electroni (e^-) şi pozitroni (e^+) care se produc prin următoarele transformări în nucleu $_0n^1 \rightarrow {}_1H^1 + e^- + \nu$ $_1H^1 \rightarrow {}_0H^1 + e^+ + \nu$	Au o putere mai mică de ionizare dar mai mare de pătrundere decît radiaţiile α. Sînt deviate de un cîmp electric şi magnetic. Nu se pot detecta în sondă.
γ	Sînt radiaţii de natură electromagnetică (fotoni) care se întîlnesc independent sau la emisia radiaţiilor α şi β.	Au o mare putere de penetraţie. Se reflectă, refractă şi interferează. Energia lor este cuprinsă în domeniul 0,0019-9 MeV. Se pot detecta uşor în sondă.

Unităţile de măsură pentru radioactivitatea rocilor

Tabelul 4.3.

Unitatea	Simbolul	Definiţie	Submultipli folosiţi
Curie	ci	Numărul de dezintegrări pe secundă dat de un gram de radiu în echilibru radioactiv cu produsele lui de dezintegrare. ($3,7 \times 10^{10}$ dez/s)	m ci= $3,7 \cdot 10^{7}$ dez/s μ Ci= $3,7 \cdot 10^{4}$ dez/s
Gram Radiu echivalent/ gram rocă	gRa.echiv/g	Cantitatea de radiu, exprimată în grame, care produce o radioactivitate egală cu cea dată de toate elementele radioactive dintr-un gram de rocă	$\mu\mu$gRa.echiv/g= $=10^{-12}$ gRa.echiv/g
Roentgen/ oră	R/h	Doza de radiaţie gama pentru care în timp de o oră, într-un centimetru cub de aer la 760mm coloană de mercur şi temperatura de 0°C se formează $2,08 \times 10^{9}$ perechi de ioni a căror sarcină totală este de 1 ues de fiecare semn	μR/h= 10^{-6}R/h
Unitatea gama API	γ API	1/200 din devierea curbei gama între un mediu cu radioactivitate joasă şi un mediu cu radioactivitate mare care conţine 0,0013 % uraniu, 0,0024 % thoriu şi 4 % potasiu, într-o sondă tubată cu o coloană de 5 1/2 in în diametru	

4.2. Radioactivitatea provocată

Carotajul radioactiv include o serie de metode de investigare care au la bază fenomenele de radioactivitate provocată, urmărindu-se în special interacţiunea radiaţiilor gama şi a neutronilor cu mediul

a) Interacţiunea radiaţiilor gama cu mediul

Radiaţia electromagnetică emisă de către nucleele atomice aflate în stare excitată se numeşte radiaţie gama. Această radiaţie apare în urma proceselor de tranziţie a nucleelor din stările excitate pe starea fundamentală sau pe o stare excitată inferioară. Radiaţia gama astfel emisă are un spectru discret de energie. Energia radiaţiilor

electromagnetice este emisă sub forma unor unităţi elementare de energie - cuante de energie. Energia unei cuante E(eV) depinde de frecvenţa ν (Hz) a radiaţiei după legea lui Planck:

$$E = \nu \cdot h \qquad (4.1)$$

în care : h este constanta lui Planck, $h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ Joule.secundă

La trecerea unui fascicol de radiaţii gama prin materie, intensitatea fasciculului incident scade după o lege exponenţială dată de expresia:

$$I_{\gamma(x)} = I_{\gamma(o)} \, e^{-\mu x} \qquad (4.2)$$

în care:

$I_{\gamma(x)}$ este intensitatea radiaţiei la distanţa x, într-un mediu absorbant caracterizat prin coeficientul de atenuare μ.

$I_{\gamma(o)}$ - intensitatea radiaţiei în vecinătatea sursei.

Există trei procese de bază prin care cuantele gama interacţionează cu materia: efectul fotoelectric, efectul Compton şi formare de perechi.

<u>Efectul fotoelectric</u> este un efect de absorbţie ce are loc la energii mici care nu depăşesc 1 MeV. Un foton de energie $h \cdot \nu$ scoate un electron de pe unul din învelişurile electronice ale atomului şi îi imprimă o viteză v (fig.49).



Fig.49. Ilustrarea efectului fotoelectric

<u>Efectul Compton</u> este atît un fenomen de împrăştiere, cît şi unul de absorbţie. Prin interacţiunea unei cuante γ cu un electron, o parte din energia cuantei este cedată electronului care este pus în mişcare, iar cuanta γ, cu energia $h \cdot \nu'$ mai redusă (deci frecvenţa ν' mai mică decît ν) este împrăştiată sub un anumit unghi, schimbîndu-şi direcţia (fig.50).

Efectul Compton depinde puţin de elementul absorbant. El apare la energii mai mari decît în cazul efectului fotoelectric, scade

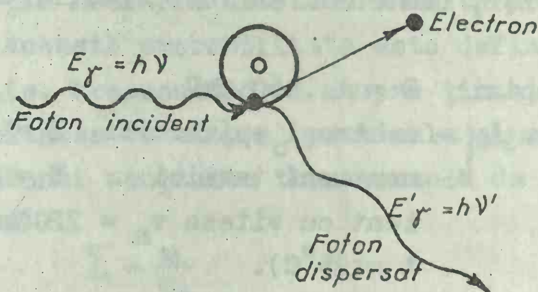


Fig. 50. Ilustrarea efectului Compton

cu energia şi prezintă fenomenul predominant în jurul energiei de 1MeV.

Formarea de perechi are loc la pătrunderea unei cuante de energie mare în cîmpul de forţe al nucleului. In locul cuantei se formează o pereche electron-pozitron (fig.51).

$$\gamma \longrightarrow e^{(+)} + e^{(-)} \quad (4.3)$$

Pozitronul se combină imediat cu un electron formînd un pozitroneum (cu viaţă foarte scurtă($\sim 10^{-10}$s) după care cele 2 particule sînt anihilate reciproc; masa

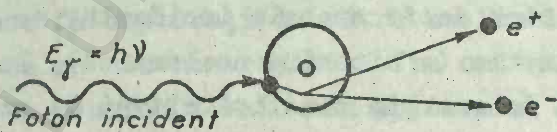
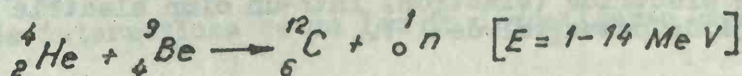


Fig. 51. Ilustrarea formării de perechi

totală a acestui sistem este convertită din nou în energie radiantă, producîndu-se doi fotoni γ îndreptaţi în sensuri opuse. Această radiaţie "de anihilare" poate fi sesizată de sistemul de detecţie, fie direct, fie prin intermediul unui efect de împrăştiere Compton pe care-l poate provoca.

b) <u>Interacţiunea neutronilor cu mediul</u>

Neutronii sînt emişi de o sursă care reprezintă un amestec pulverulent constituit dintr-un radioelement care emite radiaţii α şi un element ţintă beriliu. Are loc o reacţie nucleară de tipul:



$$_2^4He + _4^9Be \longrightarrow _6^{12}C + _0^1n \quad [E = 1\text{-}14\ MeV]$$

cu emisia unui neutron de energie mare (neutron rapid).

După energia lor, neutronii au fost clasificaţi, în mod convenţional astfel:

- neutroni rapizi $E = 1...50$ MeV
- neutroni lenţi { - neutroni epitermici $E = 0,05$ eV - 10 eV
  - neutroni termici $E = 0,025$ eV (echivalent cu viteza $v_n = 2200$m/s la temperatura $t = 25^oC$).

Neutronii emişi de sursele utilizate în geofizica de sondă [Po - Be, $T_{1/2} = 138$ zile; Am - Be, $T_{1/2} = 450$ ani] sînt neutroni rapizi, care pătrund în mediul înconjurător format din noroiul de foraj, turta de noroi şi rocă unde se desfăşoară o serie de fenomene de interacţiune după cum urmează:

- fenomenul de împrăştiere, prin ciocniri elastice şi neelastice ale neutronilor rapizi cu nucleele atomilor elementelor din mediul de propagare, în urma cărora are loc încetinirea pînă la stadiul de neutroni termici sau epitermici în asociere cu emisiunea unor radiaţii gama de împrăştiere;

Dacă neutronul intrat în nucleul ţintă iese afară cu o energie mai mică decît energia incidentă, se spune că a avut loc un proces inelastic (o ciocnire neelastică). In acest proces are loc un transfer atît de energie cinetică cît şi de energie internă. Energia internă transferată de neutron nucleului (nucleul ţintă fiind trecut într-o stare excitată) este eliberată sub formă de radiaţii gama.

Dacă neutronul incident păstrează energia sa iniţială în sistemul centrului de masă, iar nucleul ţintă rămîne în starea sa iniţială, procesul se numeşte eleastic (ciocnire elastică). In acest proces are loc numai un transfer de energie cinetică nucleului ciocnit.

- fenomenul de difuzie, în urma căruia, neutronii termici şi epitermici difuzează, sub forma unui "gaz molecular" printre nucleele atomilor elementelor din mediu, din regimurile cu densităţi mai mari spre cele cu densităţi mai mici, în asociere cu emiterea unor radiaţii gama de difuzie;

- fenomenul de captură sau absorbţie, prin care neutronii termici sau epitermici sînt capturaţi sau absorbiţi de nucleele atomilor elementelor din mediu, în asociere cu emiterea unor radiaţii gama de

[eV] - unitatea de energie pentru particulele subatomice şi reprezintă lucrul mecanic necesar pentru a transporta o unitate de sarcină electrică (electron) într-un cîmp electric avînd o diferenţă de potenţial de 1 V.

captură sau absorbţie.

In orice reacţie nucleară există o anumită probabilitate ca reacţia să aibă loc. Această probabilitate este definită ca secţiunea transversală de reacţie. Presupunînd că asupra ţintei cad pe unitatea de suprafaţă şi în unitatea de timp n_o particule şi că au loc n procese de interacţiune, atunci secţiunea transversală de reacţie este dată de relaţia

$$\sum = \frac{n}{n_o} \qquad (4.4)$$

Unitatea de măsură este barnul (bn): 1 bn = 10^{-28} m^2. Secţiunea transversală de reacţie depinde atît de tipul şi de energia particulei incidente cît şi de nucleul ţintă.

La bombardarea unui mediu cu neutroni, secţiunea transversală totală $\sum_t$ a unui nucleu poate fi scrisă sub următoarea formă:

$$\sum_t = \sum_{el} + \sum_{neel} + \sum_{capt} \qquad (4.5)$$

unde: $\sum_{el}$ - secţiunea transversală a împrăştierii elastice;
$\sum_{neel}$ - secţiunea transversală a împrăştierii neelastice;
$\sum_{capt}$ - secţiunea transversală de captură.

In principiu, neutronii pot fi capturaţi de către nucleu la orice energie dar probabilitatea ca un neutron rapid să fie captat este mult mai mică decît pentru un neutron termic sau epitermic. Neutronul termic sau epitermic stă un timp mai mare în domeniul de acţiune al nucleului ţintă.

Rezultă că în procesele de interacţiune ce au loc, un rol important îl are încetinirea neutronilor de la energii mari corespunzătoare neutronilor rapizi emişi de sursă la energii termice sau epitermice .

In procesele de interacţiune ce au loc, pierderea de energie a neutronului este cu atît mai mare, cu cît masa particulei ţintă este mai apropiată de masa particulei incidente. Deci neutronii pierd cea mai mare parte din energia lor în ciocnirile cu nucleii elementelor cu număr de masă mic. Dintre acestea, hidrogenul este elementul care încetineşte cel mai mult neutronii. La un proces de interacţiune cu hidrogenul, neutronul pierde jumătate din energia sa. Rezultă de aici faptul că formaţiunile care au conţinut mare de hidrogen determină o încetinire rapidă a neutronilor, aceştia atingînd energii termice (0,025 eV) într-un timp scurt.

Procesele de interacţiune ce au loc în investigarea sondelor

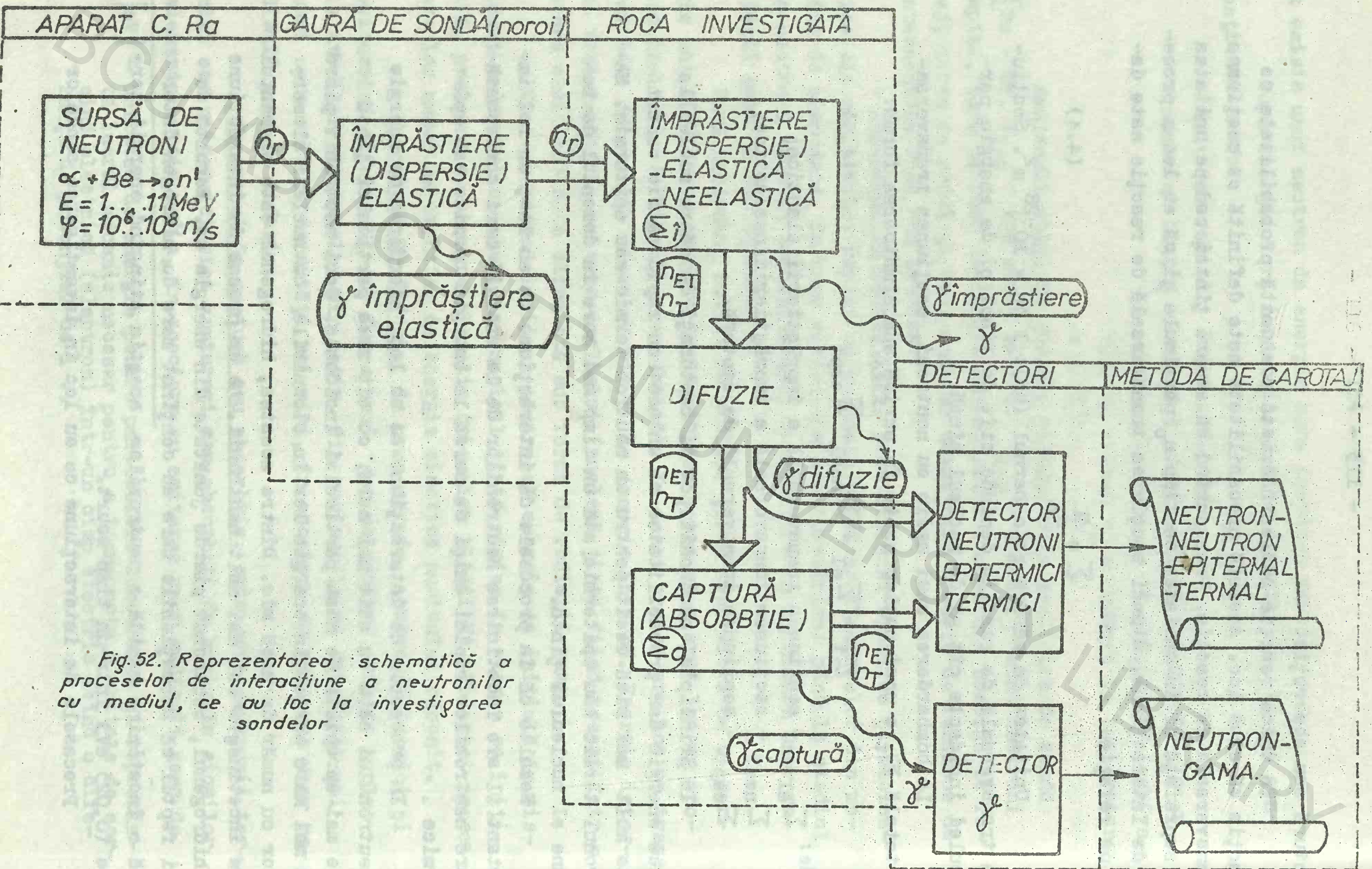


Fig. 52. Reprezentarea schematică a proceselor de interacțiune a neutronilor cu mediul, ce au loc la investigarea sondelor

sînt redate schematic în figura 52.

4.3. Metode radiometrice de cercetare a sondelor

In practica cercetărilor geofizice a formaţiunilor traversate de sonde, metodele radioactive, bazate pe studiul rocilor după radioactivitatea naturală şi provocată, au căpătat o dezvoltare din ce în ce mai mare. Aceasta se datoreşte faptului că permite obţinerea unor parametri petrofizici care caracterizează proprietăţile colectoarelor de hidrocarburi, atît din punct de vedere calitativ, dar mai ales cantitativ. Cunoscute sub denumirea de carotaj, aceste metode sînt:

- carotajul radiaţiei gama naturale,
- carotajul gama-gama (de densitate),
- carotajul izotopilor gama - radioactivi,
- carotajul neutronic aplicat în variantele de bază:
  - carotajul neutron-gama,
  - carotajul neutron-neutron.

1. Carotajul radioactivităţii gama naturale

Carotajul radioactivităţii gama naturale constă în măsurarea radioactivităţii gama a formaţiunilor traversate de sondă. Pentru măsurarea variaţiei intensităţii radiaţiei gama naturale cu adîncimea, se introduce în sondă, cu ajutorul unui cablu geofizic, aparatul pentru carotaj radioactiv (fig.53) în care se află plasat un detector de radiaţii gama: contor Geiger-Müller sau contor cu scintilaţie. Prin carcasa de presiune a aparatului, realizată dintr-un tub de oţel etanş la ambele capete, radiaţiile gama ajung la detector şi provoacă apariţia unor impulsuri electrice. Amplitudinea şi puterea acestor impulsuri nu este suficientă pentru a putea fi transmise prin cablu la suprafaţă şi de aceea,

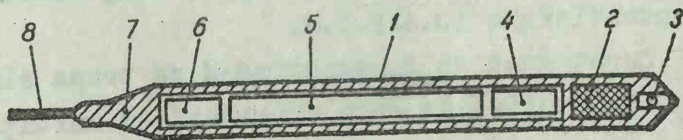


Fig.53. Aparat de sondă pentru carotajul radioactiv: 1-carcasă de presiune; 2-ecran; 3-sursă de neutroni; 4-contor de neutroni; 5-secţiune electronică; 6-contor pentru radiaţii gama naturale; 7-priză electrică; 8-cablu geofizic.

aparatul necesită un amplificator electronic de impulsuri.

Ajunse la suprafaţă prin cablu, impulsurile sînt amplificate, egalizate în durată şi amplitudine şi însumate de un panou special, astfel încît să rezulte un curent electric proporţional cu numărul impulsurilor.

Cu ajutorul galvanometrilor din camera fotoînregistratoare se efectuează înregistrarea în funcţie de adîncimea la care se află aparatul, a intensităţii radiaţiei gama naturale - obţinîndu-se diagrafia gama - care reprezintă variaţia cu adîncimea a intensităţii radiaţiei γ naturale a rocilor.

In afară de conţinutul formaţiunilor în substanţe radioactive, diagrafia înregistrată depinde şi de alţi factori: diametrul real al găurii de sondă, densitatea fluidului de foraj, caracteristicile detectorului utilizat (lungime, eficacitate), densitatea formaţiunilor investigate, grosimea stratului şi caracteristicile de tubaj şi cimentare în cazul sondelor tubate. Datorită acţiunii simultane a acestor factori, valorile înregistrate pe curba gama sînt diferite de nivelul real al radioactivităţii naturale. In vederea realizării unor diagrafii gama cît mai precise, posibile de interpretat calitativ, se aplică diverse procedee de calibrare şi de etalonare a aparaturii.

Un procedeu simplu constă în folosirea unei surse de radiaţii gama etalon, caz în care se utilizează unităţi de măsură radiometrice: micrograme echivalent Ra/tonă de rocă, microrőentgeni/oră.

Etalonarea aparaturii cu ajutorul unor machete de strate cu radioactivitate corespunzătoare unei argile şi unei roci cu conţinut redus în substanţe radioactive (calcar), permite apropierea de situaţia reală a găurii de sondă şi, în acest caz, unităţile de măsură sînt unităţi convenţionale (u.A.P.I.).

Curba gama se înregistrează pe trasa simplă din stînga a diagramei, radioactivitea este exprimată în unităţi A.P.I., iar radioactivitatea creşte de la stînga la dreapta.

Aplicaţiile carotajului radioactivităţii gama naturale

Intrucît carotajul gama nu este influenţat de natura fluidului din sondă, se poate utiliza la investigarea formaţiunilor traversate cu noroi mineralizat, precum şi a sondelor săpate cu noroi de foraj pe bază de fluide negre, de asemenea se poate utiliza la investigarea sondelor tubate.

Aplicaţiile curbei gama constau în:

- diferenţierea litologică a rocilor,
- corelări ale profilelor sondelor pe scară locală sau regională,
- determinarea grosimii şi limitelor stratelor poroase permeabile,
- determinarea conţinutului în argilă a rocilor colectoare,
- localizarea zăcămintelor de minereuri radioactive, a zăcămintelor de săruri de potasiu, a stratelor de cărbuni.

LUCRAREA NR. 11

DETERMINAREA GROSIMII SI A LIMITELOR STRATELOR POROASE PERMEABILE DUPA CURBA GAMA NATURALA

a) Succesiuni grezos-nisipoase, eventual calcare poroase-permeabile cu marne şi argile impermeabile

Limitele stratului şi grosimea se determină prin acelaşi procedeu ca la P.S. (fig.54) "metoda jumătăţii amplitudinii":

- se determină amplitudinea ΔI_γ, a anomaliei gama egale cu distanţa (în u.A.P.I.) între $I_{\gamma min}$ - valoare caracteristică nisipurilor şi gresiilor şi $I_{\gamma max}$ - valoare caracteristică a marnelor

$$\Delta I_\gamma = I_{\gamma max} - I_{\gamma min} \qquad (4.6)$$

- se determină punctele de inflexiune ale curbei gama, prin intersecţia dreptei verticale trasate la distanţa $\frac{\Delta I_\gamma}{2}$ în raport cu linia marnelor şi nisipurilor;

- H_{sup} - limita superioară - este dată de adîncimea corespunzătoare punctului de inflexiune superior, P_{SI};

- H_{inf} - limita inferioară - este dată de adîncimea corespunzătoare punctului de inflexiune inferior, P_{ii}.

- Grosimea stratului :

$$h = H_{inf} - H_{sup} \qquad (4.7)$$

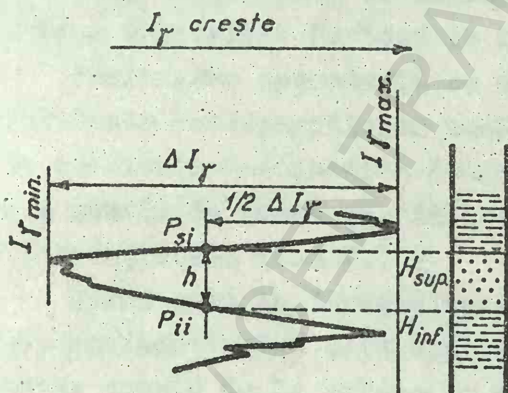


Fig.54 Determinarea grosimii şi limitelor stratelor poroase-permeabile după curba gama

Observaţie: La strate de grosime mică este necesară să se introducă o corecţie pentru produsul $v\tau$ (v = viteza de înregistrare, τ = constanta de timp a circuitului de măsură (A.Neguţ - Geofizică de sondă - Caiet de lucrări practice, Universitatea Bucureşti, 1985).

b) In cazul succesiunilor carbonatate nu pot fi separate intervalele poroase-permeabile de cele compacte, deci nu pot fi determinate limitele acestora.

LUCRAREA NR. 12

DETERMINAREA CONTINUTULUI IN ARGILA, V_{arg}, DIN DIAGRAFIA GAMA NATURALA

Importanţa cunoaşterii conţinutului în argilă al rocilor colectoare este evidentă, deoarece răspunsul multor carotaje este influenţat de argila existentă în roci. O evaluare corespunzătoare a formaţiunilor colectoare, din punct de vedere al potenţialului de înmagazinare şi cedare a fluidelor, nu poate fi făcută dacă nu se cunoaşte cantitatea de argilă conţinută.

Există mai multe metode de evaluare a conţinutului în argilă:

- metode singulare - utilizînd diagrafia unei singure metode de carotaj;
- metode combinate - utilizînd diagrafia a două metode de carotaj.

In continuare este redată cea mai uzuală metodă de determinare a conţinutului de argilă din diagrafia gama naturală.

Determinarea conţinutului în argilă după datele carotajului gama naturală

Pentru formaţiunile grezos-nisipoase şi carbonatate este caracteristică creşterea radioactivităţii naturale cu creşterea conţinutului în argilă.

Dependenţa mărimii relative a radioactivităţii naturale de conţinutul în argilă este de forma:

$$(V_{arg})_{\gamma} = \frac{I_{\gamma} - I_{\gamma min}}{I_{\gamma max} - I_{\gamma min}} \qquad (4.8)$$

unde:

V_{arg} este cantitatea de argilă (%) dintr-un volum unitar de rocă;

I_{γ} - valoarea intensităţii radiaţiei gama în dreptul stratului analizat

$I_{\gamma max}$ - valoarea maximă a intensităţii radiaţiei gama în profil reprezentînd radioactivitatea naturală a mineralelor argiloase;

$I_{\gamma min}$ - valoarea minimă a intensităţii radiaţiei gama în dreptul

unor formaţiuni "curate", fără conţinut de argilă (vezi fig.55).

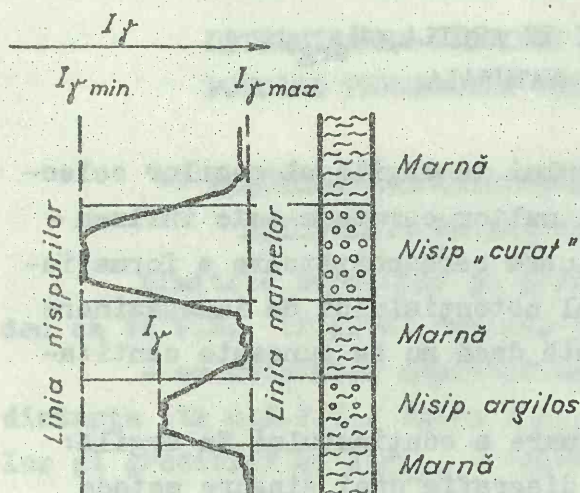


Fig. 55. Determinarea conţinutului în argilă a formaţiunilor din diagrafia gama naturală.

Modul de lucru

- Se separă pe curba gama, un strat de argilă în dreptul căruia se citeşte $I_{\gamma max}$;
- Se separă un strat poros-permeabil curat (nisip, gresie, calcar, dolomit) şi se citeşte $I_{\gamma min}$;
- Se citeşte pe curba gama, în dreptul stratului de analizat, valoarea I_{γ};
- Se calculează cantitatea de argilă V_{arg} cu relaţia (4.8).

Această cantitate este corectată în funcţie de vîrsta geologică a formaţiunilor cu ajutorul abacei nr.31, astfel:

- Se introduce în ordonată valoarea lui V_{arg} şi se merge orizontal pînă intersectează curba ce defineşte vîrsta formaţiunii. Din punctul de intersecţie se coboară o verticală şi în absciså se determină în procente $(V_{arg})_{cor}$ (volumul de argilă corectat).

Observaţie : Este indicat ca atît stratul de argilă, cît şi stratul poros permeabil "curat" să fie cît mai aproape de stratul analizat şi să aparţină aceleiaşi formaţiuni geologice.

Exemplu: De pe curba gama se citesc următoarele valori:

$I_{\gamma min}$ = 30 u.A.P.I.

$I_{\gamma max}$ = 90 u.A.P.I.

I_{γ} = 45 u.A.P.I.

Volumul de argilă se determină conform relaţiei (4.8)

$$V_{arg} = \frac{45 - 30}{90 - 30} = 0{,}25 \text{ sau } V_{arg} = 25\ \%$$

$(V_{arg})_{cor}$ = 8 % (abaca 31)

2. Carotajul neutronic

Carotajul neutronic include o serie de metode de investigare a sondelor, în care rocile sînt bombardate cu neutroni şi se urmăresc rezultatele interacţiunii neutronilor cu mediul traversat.

De la interacţiunea neutronilor cu mediul s-au reţinut însuşirile deosebite ale nucleilor de hidrogen în procesul de termalizare al neutronilor rapizi. Dacă tot conţinutul în hidrogen al formaţiunii se află sub formă de lichide şi dacă aceste lichide ocupă complet volumul total al porilor, conţinutul în hidrogen este un indice al porozităţii.

Rezultă că, intensitatea radiaţiei gama de captură ($I_{n\gamma}$), densitatea neutronilor epitermici (N_{eT}) sau termici (N_T) rezultaţi în procesul de interacţiune depinde de conţinutul în hidrogen al rocilor investigate şi este un indice al porozităţii formaţiunilor.

Inregistrarea unui parametru rezultat în procesul de interacţiune a neutronilor cu mediul ($I_{n\gamma}$, N_{eT}, N_T) în funcţie de adîncime, în principiu se realizează prin introducerea în sondă a unui dispozitiv de investigare care conţine o sursă de neutroni şi un detector. De la detector semnalul este amplificat în blocul electronic şi transmis la suprafaţă prin cablu geofizic. Aici este prelucrat şi redat sub forma unei curbe în funcţie de adîncime(fig. 53).

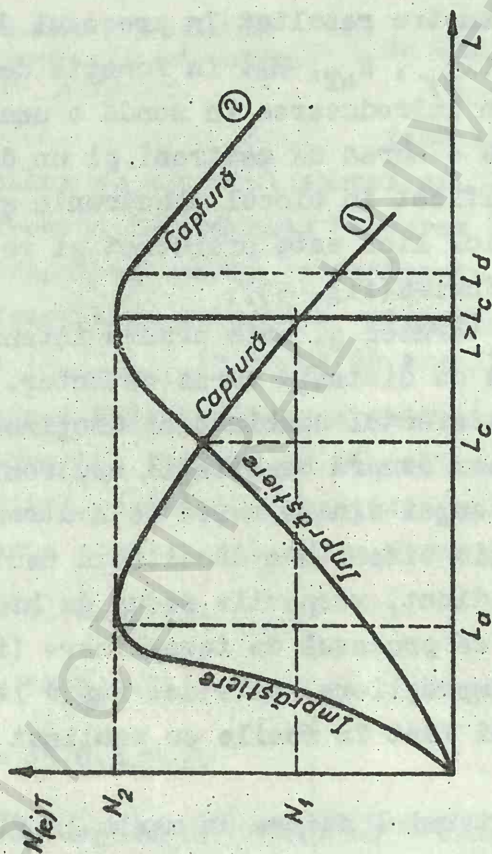
Densitatea neutronilor termici şi prin urmare intensitatea radiaţiei gama de captură depinde de distanţa sursă detector.

In figura 56 este redat efectul combinat al conţinutului în hidrogen şi distanţa sursă detector asupra densităţii neutronilor termici.

Studiind influenţa distanţei dintre sursa de neutroni şi detector, se pune în evidenţă variaţia diferită a densităţii neutronilor termici pentru roci cu conţinut ridicat, respectiv redus de hidrogen. Aceasta, se explică prin faptul că procesul de termalizare (încetinirea neutronilor prin fenomenul de împrăştiere) este mai rapid la rocile cu conţinut mare în hidrogen şi mai lent în rocile cu conţinut mic de hidrogen.

Densitatea neutronilor termici atinge un maxim la finele procesului de împrăştiere şi descreştere odată cu începerea procesului de captură.

La distanţe mici între sursă şi detector (La) densitatea neutronilor termici, respectiv intensitatea radiaţiei gama de captură este mai mare pentru rocile cu conţinut bogat de hidrogen deci pentru rocile cu porozitate mare şi mai mică pentru rocile cu conţinut sărac în hidrogen deci pentru roci cu porozitate mică.



neutron - gama $L = 60$ cm
neutron - neutron $L = 40$ cm

1 mediu „bogat" în H $m \longrightarrow$ mare

2 mediu „sărac" în H $m \longrightarrow$ mică

L_c = lungimea critică

Fig. 56

La distanţe mari între sursă şi detector (Ld) situaţia se prezintă invers, adică valori reduse pentru rocile cu conţinut bogat în hidrogen şi valori <u>mari</u> în rocile cu conţinut mic în hidrogen ale densităţii neutronilor termici.

Există o anumită distanţă între sursă şi detector pentru care nu se poate face o diferenţiere a rocilor după conţinutul lor în hidrogen. Această distanţă se numeşte <u>lungime critică</u> (Lc).

Lungimea critică depinde nu numai de distanţa sursă-detector, dar şi de proprietăţile de interacţiune a neutronilor cu elementele din mediu, precum şi de diametrul sondei. De aceea se consideră un domeniu al lungimilor critice cuprins între 20-30 cm. In practică, se utilizează dispozitive cu lumgime mai mare decît distanţa critică.

Prin lungimea dispozitivului de investigare se înţelege distanţa sursă-detector.

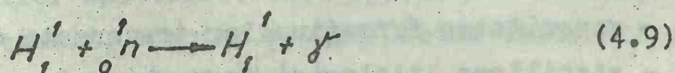
In funcţie de parametrul înregistrat, intensitatea radiaţiei gama de captură, densitatea neutronilor, se deosebesc următoarele variante ale carotajului neutronic:

- carotajul neutron-gama
- carotajul neutron-neutron.

a) <u>Carotajul neutron-gama</u>

Principiul carotajul neutron-gama constă în bombardarea formaţiunilor traversate de sondă cu neutroni şi înregistrarea intensităţii radiaţiei gama de captură. Probabilitatea de captură este condiţionată de secţiunea efectivă transversală de captură pentru neutronii termici a atomilor elementelor conţinute în mediu. Prin captura neutronilor rezultă un element intermediar în stare excitată, surplusul de energie al acestui atom fiind eliberat sub formă de radiaţii gama.

O reacţie tipică de captură (n, γ) a neutronilor termici este reacţia cu hidrogenul:



$$H_1^1 + {}_0^1n \longrightarrow H_1^1 + \gamma \qquad (4.9)$$

cînd se produce o cuantă gama cu energie caracteristică de 2,23 MeV.

O importantă captură a neutronilor se observă în rocile care conţin clorură de sodiu (strate acvifere puternic mineralizate) şi în special la traversarea masivelor de sare pe structurile diapire.

Aceasta se explică prin secţiunea mare de captură a atomului de clor pentru neutronii termici (33 bn) la care se adaugă secţiunea de captură a sodiului (0,5 bn).

*

Măsurarea intensităţii radiaţiei gama de captură în funcţie de adîncime se realizează cu ajutorul unui dispozitiv de investigare care conţine o sursă de neutroni şi un detector de radiaţii gama (fig.53). Pentru ca radiaţia gama provenită din procesul de dezintegrare a elementului radioactiv care compune sursa să nu fie înregistrată direct de detector, acestea sînt izolate printr-un ecran de plumb.

Semnalul datorat radiaţiei gama de captură ajuns la detector este amplificat de blocul electronic şi transmis la suprafaţă unde este prelucrat şi cu ajutorul unui bloc de înregistrare este redat sub forma unei curbe.

Această curbă se înregistrează pe trasa din dreapta a diagramei, intensitatea radiaţiei gama de captură fiind exprimată în imp/min Pe trasa din stînga a diagramei se înregistrează de regulă curba gama naturală (Anexa B_{11}).

Punctul la care se raportează valoarea măsurată este plasat la jumătatea distanţei sursă-detector. Prin lungimea dispozitivului se înţelege distanţa sursă-detector şi este egală cu 60 cm.

Raza de investigaţie a carotajului n-γ depinde de caracteristicile sursei de neutroni, de porozitatea rocii, de conţinutul în hidrogen şi de secţiunea de captură pentru neutronii termici ai elementelor din mediu. Ea variază de la cîţiva centimetri pînă la cîţiva zeci de centimetri.

Măsurătorile n - γ sînt influenţate de radiaţia gama naturală. Pentru reducerea influenţei acesteia se utilizează surse de neutroni de putere mare, astfel ca intensitatea radiaţiei gama de captură să depăşească de 20-30 ori radiaţia gama naturală.

Aplicaţii

Cu ajutorul carotajului neutron-gama se pot rezolva probleme referitoare la:

- porozitatea formaţiunilor traversate de sondă
- stabilirea litologiei în combinaţie cu alte metode
- plasarea limitelor gaze-petrol sau gaze-apă
- în condiţii favorabile (la mineralizaţii mari ale apelor de zăcămînt) metoda oferă posibilitatea stabilirii limitei petrol-apă.

Se utilizează în cercetarea sondelor săpate pentru punerea în evidenţă a substanţelor minerale solide Mn, Al, Li, B precum şi a stratelor de cărbuni.

b) Carotajul neutron-neutron

In procesele de interacţiune a neutronilor cu mediul, neutronii pierd din energia lor ajungînd la energii epitermice şi termice. In carotajul neutron-neutron formaţiunile traversate de sondă sînt iradiate cu neutroni rapizi şi se înregistrează densitatea neutronilor cu un anumit nivel de energie, care ajung la detector. In funcţie de energia neutronilor se disting două variante ale carotajului neutron-neutron şi anume:

1. - carotajul neutron-neutron cu neutroni termici
2. - carotajul neutron-neutron cu neutroni epitermici.

In prima variantă se înregistrează densitatea neutronilor ajunşi la energie termică iar în varianta a doua se înregistrează densitatea neutronilor ajunşi la energia epitermică.

Densitatea neutronilor termici, în afară de conţinutul în hidrogen al formaţiunilor, este influenţată de prezenţa elementelor cu secţiune mare de captură pentru neutronii termici. De exemplu, în apele de zăcămînt, prezenţa clorului care este un absorbant puternic de neutroni termici, are ca urmare reducerea densităţii neutronilor termici.

Faţă de carotajul neutron-gama şi neutron-neutron cu neutroni termici, elementele cu secţiune mare de captură au o influenţă foarte mică în valoarea măsurată a densităţii neutronilor epitermici. Practic, răspunsul metodei nu este influenţat de existenţa clorului în mediu, datorită faptului că secţiunea de captură a clorului pentru neutronii cu energie supratermică diferă puţin de secţiunea de captură a altor elemente. De aceea această metodă se aplică în prezent, practic, în exclusivitate.

Densitatea neutronilor epitermici este dependentă de conţinutul în hidrogen al formaţiunii, oferind posibilitatea determinării porozităţii rocilor cu un grad bun de încredere.

*

* *

Măsurarea densităţii neutronilor termici sau epitermici în funcţie de adîncime se realizează prin introducerea în sondă a unui dispozitiv de investigare care conţine o sursă de neutroni rapizi, detectorul de neutroni şi un bloc electronic (fig.53).

Pentru detectarea neutronilor se folosesc contori cu scintilaţie şi contori proporţionali. Construcţia detectorilor pentru neutronii epitermici este realizată în aşa fel încît aceştia nu sînt sensibili la neutronii termici şi radiaţii gama.

Pentru a elimina influenţa directă a neutronilor şi radiaţiei gama produsă de sursă asupra detectorului se plasează un ecran de plumb şi parafină cu conţinut de bor.

Semnalul de la detector este amplificat de blocul electronic şi transmis la suprafaţă unde este prelucrat şi înregistrat sub forma unei curbe continui în funcţie de adîncime. Lungimea dispozitivelor utilizate sînt mai mari decît lungimea critică.

Valoarea măsurată în carotajul neutronic se raportează la jumătatea distanţei sursă-detector. Distanţa sursă detector fiind egală cu lungimea dispozitivului.

Ca şi în cazul celorlalte două metode , raza de investigaţie variază în funcţie de proprietăţile de încetinire ale mediului, de proprietăţile sursei şi de diametrul sondei ajungînd la cîţiva zeci de centimetri.

Pentru determinarea dependenţei răspunsului dispozitivului neutronic faţă de porozitatea mediului investigat, aparatura este calibrată într-un stand realizat din blocuri de calcar cu porozitate cunoscută şi diferite diametre de găuri de sondă.

Curba de variaţie a densităţii neutronice cu adîncimea este înscrisă pe trasa din dreapta a diagramei. De regulă concomitent cu această curbă se înregistrează şi curba gama naturală care se înscrie pe trasa din stînga a diagramei. Valoarea densităţii neutronice este exprimată în u.A.P.I. Astfel, un profil radioactiv este redat în anexa B_{12}

Valorile de porozitate din diagrafia neutronică cu ajutorul unor dispozitive simple, sînt puternic afectate de caracteristicile mediului apropiat, respectiv noroiului de foraj, turta de colmataj ca şi de variaţiile diametrului sondei.

Pentru eliminarea acestor efecte s-au introdus în practica geofizicii de sondă dispozitive "compensate", respectiv:

- dispozitivul cu patină (de tip "Sidewall - neutron porosity - SNP) în care sursa de neutroni şi detectorul de neutroni epitermici sînt montaţi pe o patină aplicată pe peretele sondei, asigurînd micşorarea sensibilă a efectului găurii de sondă;
- dispozitivul "dual compensat" (de tip "Compensated neutron log" - CNL), care are o sursă de neutroni de eficienţă sporită

şi un sistem de detecţie cu două detectoare de neutroni termici plasate la distanţe diferite de sursă. Prin măsurarea raportului densităţilor neutronilor termici determinate de cele două detectoare, se obţine reducerea considerabilă a efectului parametrilor sondei.

In ambele cazuri, diagrafia este elaborată direct în valori de porozitate pentru calcare, anexa B_{13}

Aplicaţii

Carotajul neutron-neutron permite punerea în evidenţă a următoarelor date:

- determinarea porozităţii rocilor,
- plasarea limitei gaze-lichide,
- identificarea litologică în combinaţie cu alte carotaje.

LUCRAREA NR. 13

DETERMINAREA POROZITATII DIN CAROTAJUL NEUTRONIC

S-a arătat că răspunsul carotajului neutronic depinde de numărul atomilor de hidrogen din formaţiune. Atomi de hidrogen sînt conţinuţi atît de fluidele (petrol şi/sau apă) existente în spaţiul poros cît şi de apa de cristalizare sau adsorbită de particulele argiloase. Avînd în vedere cele de mai sus, pentru determinarea porozităţii se va lua în considerare cazul formaţiunilor "curate" (neargiloase) şi formaţiuni argiloase.

Formaţiuni "curate"

Intr-un domeniu de porozităţi cuprinse între circa 5-30 % intensitatea radiaţiilor gama de captură, $I_{n\gamma}$ şi respectiv densitatea neutronilor termici (sau epitermici), $N_{T(eT)}$ sînt funcţii liniare de logaritmul porozităţii

$$\left.\begin{matrix} I_{n\gamma} \\ N_{T(eT)} \end{matrix}\right\} = -A \log m + B \qquad (4.10)$$

unde A şi B reprezintă două constante care depind de tipul şi dimensiunile detectoarelor, de geometria dispozitivului de investigare şi a sondei, de caracteristicile noroiului de foraj, de caracterul saturaţiei formaţiunii etc.

Determinarea răspunsului carotajului neutronic în sonde etalon conţinînd blocuri de calcar cu diferite porozităţi şi cu diferite diametre ale sondei, permite obţinerea unor grafice de dependenţă de tipul:

$$\left.\begin{matrix} I_{n\gamma} = f(m) \\ N_{eT} = f(m) \end{matrix}\right\} \qquad (4.11)$$

Aceste grafice, folosite ca abace de interpretare asigură determinarea porozităţii, în funcţie de valorile intensităţii radiaţiei gama de captură $I_{n\gamma}$ - exprimate în unităţi "convenţionale" - din diagrafia neutron-gama, abaca nr.32 sau de valorile densităţii neutronilor epitermici - exprimate în unităţi neutronice A.P.I. din diagrafia neutron-neutron, abaca nr.33, cu ajutorul cărora se obţine valoarea porozităţii.

Valoarea porozităţii, astfel obţinută, reprezintă porozitatea aparentă pentru calcare.

In cazul unor litologii diferite - formaţiuni grezoase/nisipoase, respectiv dolomitice - se efectuează o corecţie cu litologia, cu ajutorul abacei nr.34 (pentru aparatura de carotaj neutron-neutron epitermal).

Exemplu (colector grezos)

N_{eT} = 1100 u.A.P.I. (valoare citită pe diagramă în dreptul stratului analizat)

d = 7 1/8 in (diametrul sondei determinat din cavernogramă)

m_N = 14 % (abaca nr.33)

$(m_N)_{cor}$ = 19,2 % (porozitatea corectată cu litologia, abaca nr. 34).

Valorile de porozitate determinate astfel, cu ajutorul unor dispozitive simple (sursă-detector) sînt puternic afectate de caracteristicile mediului apropiat, respectiv noroiul de foraj şi mai ales turta de noroi, ca şi de variaţiile diametrului sondei.

Pentru eliminarea acestor efecte s-a introdus în practica geofizicii de sondă dispozitive "compensate", cu ajutorul cărora se obţine reducerea considerabilă a efectului parametrilor găurii de sondă.

Diagrafia obţinută este etalonată direct în unităţi de porozitate pentru calcare. In acest caz se efectuează numai corecţia cu litologia.

2. Formaţiuni argiloase

In cazul formaţiunilor cu conţinut de argilă, porozitatea aparentă determinată de carotajul neutronic este afectată de prezenţa apei din compoziţia mineralului argilos, astfel că valorile obţinute sînt mai mari decît cele reale.

De aceea, porozitatea corectată faţă de efectul argilei, respectiv porozitatea efectivă din carotajul neutronic este:

$$(m_{ef})_N = m_N - V_{arg}\, m_{N_{arg}} \qquad (4.12)$$

unde: V_{arg} este volumul unitar de argilă din colector

$m_{N_{arg}}$ - indicele de porozitate neutronică al argilei, respectiv

porozitatea determinată în dreptul unei formaţiuni argiloase - V_{arg} = 1,0 (sau 100 %).

Prezenţa hidrocarburilor reziduale uşoare în subzona spălată are ca efect reducerea numărului de atomi de hidrogen pe unitatea de volum de rocă, în special în cazul hidrocarburilor gazoase. De aceea este necesară efectuarea unei corecţii a porozităţii pentru efectul hidrocarburilor reziduale [9].

Pentru a obţine porozitatea corectată cu volumul de argilă se utilizează abaca nr.35. Modul de lucru cu această abacă este indicat prin săgeţi şi sînt necesare următoarele date:

- m_N - porozitatea determinată din carotajul neutronic
- V_{arg} - volumul de argilă
- m_{arg} - porozitatea argilei.

Exemplu, pentru un colector grezos

m_N = 25 %
V_{arg} = 30 %
m_{arg} = 20 %

Utilizînd abaca nr.35 se obţine porozitatea corectată ($m_N$cor)= = 23 %.

E X E R C I T I I

Să se determine porozitatea corectată pentru colectoarele din diagrafia cuprinsă în anexa $B_{12,13}$ cunoscînd că m_{arg} = 30 %.

Volumul de argilă se determină de pe curba gama din aceeaşi diagramă.

3. Carotajul de densitate gama - gama

Principial, carotajul gama-gama constă în iradierea formaţiunilor traversate de sondă cu un flux de radiaţii gama, înregistrîndu-se radiaţia gama rezultată ca efect al interacţiunii cu mediul, numită şi radiaţia gama dispersată.

La energiile radiaţiei gama emise de sursele utilizate în geofizică, (E_γ = 0,66 ÷ 1,33 MeV) interacţiunea se datorează în principal efectului Compton. Radiaţia gama rezultată este funcţie de numărul atomic Z al substanţei traversate deci de numărul de electroni. Dar, numărul de electroni ai unei substanţe este proporţional

cu densitatea, conform relaţiei :

$$n_e = \frac{Z}{A} N \cdot \delta \qquad (4.13)$$

unde:

Z - numărul atomic
A - greutatea atomică
N - numărul lui Avogadro
δ - densitatea mediului.

Pentru rocile formate din elemente uşoare, raportul $\frac{Z}{A} \approx \frac{1}{2}$ este practic constant.

Cu cît densitatea mediului este mai mare, numărul de electroni pe unitatea de volum este mai mare şi ca urmare numărul de interacţiuni va fi mai mare, cu cît substanţa va fi mai densă. Rezultă că intensitatea radiaţiilor gama retroîmprăştiate sosite la detector va fi cu atît mai mare cu cît substanţa este mai puţin densă, şi invers. Intensitatea radiaţiei gama măsurate este deci o măsură a densităţii mediului.

Dependenţa densitate, intensitatea radiaţiei gama măsurate poate fi pusă în evidenţă ţinînd seama de relaţia (4.2).

Coeficientul de absorbţie masic μ_m este egal cu:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\delta} \qquad (4.14)$$

rezultă că $\mu = \mu_m \cdot \delta$

Substituind pe μ în relaţia (4.2) se obţine:

$$\left.\begin{aligned} I_{\gamma,x} &= I_{\gamma,0}\, e^{-\mu_m \delta x} \\ \text{sau} \quad \ln I_{\gamma,x} &= \ln I_{\gamma,0} - \mu_m \delta x \end{aligned}\right\} \qquad (4.15)$$

$$\delta = \frac{\ln I_{\gamma,0} - \ln I_{\gamma,x}}{\mu_m x} \qquad (4.16)$$

Intensitatea radiaţiei gama în vecinătatea sursei $I_{\gamma,0}$ şi x (care în această relaţie reprezintă distanţa sursă-detector) sînt cunoscute şi constante.

Experimental s-a constatat că pentru rocile traversate de sonde coeficientul de absorbţie masic μ_m poate fi considerat practic

constant. Rezultă că intensitatea radiaţiei gama măsurate I_γ este funcţie de densitatea formaţiunilor.

Pentru efectuarea carotajului de densitate gama-gama în sondă se introduce un dispozitiv de investigare de o construcţie specială, (fig.57), în care detectorul şi sursa de radiaţii sînt separate de un ecran de plumb, pentru ca la detector să nu ajungă radiaţiile gama directe.

Ca surse de radiaţii gama se folosesc cobalt 6o sau cesiu 137. Fascicolul de radiaţii gama emise de sursă sînt dirijate către formaţiune printr-un canal colimator. De asemenea radiaţiile gama dispersate ajung la detectori tot prin canale colimatoare.

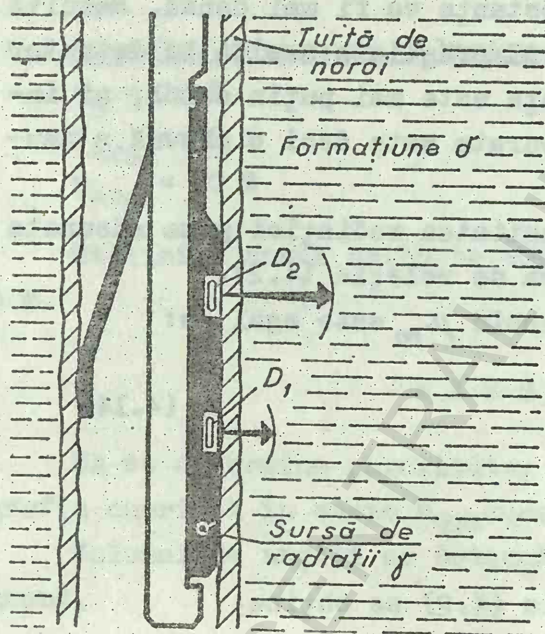


Fig. 57 Reprezentarea schematică a dispozitivului pentru carotajul de densitate compensat (după Wahl, Tittman și Johnstone, 1964)

In scopul eliminării influenţei găurii de sondă, aparatul este presat cu canale colimatoare pe peretele sondei printr-un sistem de patine cu resorturi.

Pentru a obţine o valoare corectată a densităţii formaţiunilor investigate se utilizează dispozitivul cu două detectoare plasate la distanţe diferite de sursă, numit şi dispozitivul gama-gama compensat.

Detectorul apropiat (D_1) de sursă are o sensibilitate mărită la mediul direct în contact cu patina permiţînd evaluarea corecţiei determinată de turta de noroi şi neregularităţile peretelui sondei. Detectorul plasat la distanţă mai mare (D_2) permite determinarea densităţii necorectate a formaţiunii. Aplicînd corecţia respectivă se va obţine valoarea corectată a densităţii. Se înregistrează sub formă de curbe continui densitatea corectată şi corecţia care a fost aplicată.

Lungimea dispozitivului de carotaj gama-gama este egală cu distanţa sursă-detector. Se obţin valori maxime ale razei de investigare (aproximativ 25 cm) pentru lungimi ale dispozitivului de 20-30cm.

Punctul la care se raportează valoarea densităţii măsurate este la jumătatea distanţei sursă-detector.

Diagrama carotajului gama-gama se prezintă sub forma unor curbe continui de variaţie a densităţii δ în $[g/cm^3]$ cu adîncimea. Totodată se înregistrează şi curba de corecţie $\Delta\delta$. Cele două curbe sînt înscriese pe trasa din dreapta a diagrafiei(Anexa B_{14}).

Simultan cu curba de densitate se înregistrează de obicei curba gama şi cavernograma care se înscriu pe trasa din stînga.

<u>Aplicaţii</u>

Cea mai importantă aplicaţie a carotajului de densitate este determinarea porozităţii rocilor, fiind una din cele mai bune metode de determinare a acestui parametru. Datele asupra densităţii rocilor se folosesc pentru separarea litologică a formaţiunilor traversate de sonde, corelarea lor, precum şi interpretarea cît mai corectă a lucrărilor geofizice de prospecţiune (gravimetrice şi seismice).

LUCRAREA NR. 14

DETERMINAREA POROZITĂȚII DIN CAROTAJUL DE DENSITATE

Densitatea globală, δ, a formațiunilor, determinată din diagrafia gama-gama de densitate, poate fi exprimată în funcție de porozitate, m, și de litologie, prin relația liniară:

a) pentru formațiuni "curate"

$$\delta = m\,\delta_f + (1-m)\cdot\delta_{ma} \qquad (4.17)$$

unde: δ_f este densitatea fluidului din spațiul poros (întrucît raza de investigație a dispozitivului gama-gama nu depășește 20 cm, în general fluidul este constituit din filtrat de noroi)

$$\delta_f \equiv \delta_{fn} = 1{,}0 \ldots 1{,}1$$

δ_{ma} - densitatea matricei, avînd valorile:

δ_{ma} = 2,65 pentru roci cu matrice silicioasă (nisipuri, gresii)

δ_{ma} = 2,79 pentru calcare

δ_{ma} = 2,85 pentru dolomite

δ_{ma} = 2,98 pentru anhidrite.

Din relația (4.17) poate fi dedusă formula de determinare a porozității din carotajul de densitate:

$$m_D = \frac{\delta_{ma} - \delta}{\delta_{ma} - \delta_f} \qquad (4.18)$$

valabilă în cazul formațiunilor "curate" saturate cu apă.

b) pentru formațiuni "argiloase", densitatea globală poate fi reprezentată prin relația:

$$\delta = m\,\delta_f + V_{arg}\cdot\delta_{arg} + (1-m-V_{arg})\,\delta_{ma} \qquad (4.19)$$

unde:

δ_{arg} este densitatea argilei și

V_{arg} - volumul de argilă conținut în formațiune.

Determinarea porozității efective, excluzînd efectul materialului argilos, se efectuează conform relației

$$m_{ef} = m_D - V_{arg} \cdot m_{D\,arg} \qquad (4.20)$$

unde: $m_{D\,arg}$ este indicele de porozitate al argilei din carotajul de densitate, avînd forma:

$$m_{D\,arg} = \frac{\delta_{ma} - \delta_{arg}}{\delta_{ma} - \delta_f} \qquad (4.21)$$

<u>Procedeul practic de determinare a porozităţii</u>

Determinarea porozităţii conform relaţiilor (4.17...4.21) necesită cunoaşterea următoarelor date:

- pentru formaţiuni "curate" :
  - δ - densitatea globală a formaţiunii citită din diagrafie
  - δ_{ma} - densitatea matricei stabilită în funcţie de litologie
  - δ_f - densitatea fluidului din spaţiul poros.
- pentru formaţiuni argiloase mai trebuiesc cunoscute:
  - δ_{arg} - densitatea argilei citită în dreptul unui strat argilos
  - V_{arg} - volumul de argilă conţinut de stratul analizat.

Relaţiile (4.17), (4.21) pot fi rezolvate grafic cu ajutorul abacei nr.36. Modul de lucru fiind indicat prin săgeţi pe abacă. Se obţine în primă etapă porozitatea pentru $\delta_f = 1$, după care se efectuează corecţia cu volumul de argilă şi densitatea argilei. Porozitatea efectivă astfel obţinută se corectează dacă este cazul pentru $\delta_f \neq 1$. In cazul formaţiunilor "curate" nu se mai efectuează corecţia pentru argilă ci numai corecţia pentru densitatea fluidului. In acest caz $m = m_{ef}$.

<u>Exemplu</u>

Din diagrafie se citeşte valoarea densităţii globale în punctul de maxim:

$$\delta = 2{,}4 \ g/cm^3$$

Densitatea matricei pentru formaţiuni grezoase

$$\delta_{ma} = 2{,}65 \ g/cm^3$$

$$\delta_f = 1 \ g/cm^3 \text{ (pentru noroaie dulci)}$$

$m_D = 15\ \%$

Dacă formaţiunea conţine argilă se aplică corecţia pentru V_{arg} (determinată din curba gama).

$V_{arg} = 20\ \%$

$\delta_{arg} = 2,5\ g/cm^3$

Atunci porozitatea corectată va fi:

$$(m_D)_{cor} = 12,9\ \%$$

E X E R C I T I I

Să se determine porozitatea din carotajul de densitate pentru stratele poroase permeabile cuprinse în diagrama din anexa B_{14}.

CAPITOLUL V

CAROTAJUL ACUSTIC

Carotajul acustic reprezintă o metodă de investigare care se bazează pe proprietăţile de propagare a undelor elastice, de frecvenţă ultraacustică, prin mediul constituit din formaţiunile geologice traversate de sonde.

Parametrii determinaţi în cadrul acestei metode sînt:

- viteza de propagare a undelor ultraacustice în roci;
- absorbţia sau atenuarea undelor ultraacustice în roci, sau în coloane de tubaj şi ciment.

5.1. Carotajul acustic de viteză

Carotajul acustic de viteză reprezintă varianta de carotaj acustic care determină viteza de propagare a undelor elastice (ultraacustice) în rocile traversate de sondă.

Pentru efectuarea carotajului acustic se utilizează dispozitive de investigare compuse din două sau mai multe traductoare, ca în figura 58. Traductoarele sînt de două tipuri:

- emiţătoare, care transformă oscilaţiile electrice în unde elastice;
- receptoare, care transformă undele elastice în oscilaţii electrice.

1. Dispozitivul monoreceptor (fig.58.a) este constituit dintr-un emiţător E şi un receptor R. Unda elastică se propagă de la emiţător la receptor pe traseul EABR, respectiv prin noroiul de foraj, sub formă de undă longitudinală, iar de-a lungul formaţiei, sub forme de unde longitudinale şi transversale.

Timpul parcurs de unda elastică de la emiţător se măsoară de-a lungul liniei de parcurs minim EABR şi reprezintă timpul scurs din momentul transmisiunii undei elastice pînă la sosirea frontului undei longitudinale la receptor. Acest timp este compus din:

- timpul parcurs prin rocă: t_{AB} în μs;
- timpul parcurs prin noroi, de la emiţător la rocă t_{EA} şi de la rocă la receptor t_{BR} în μs.

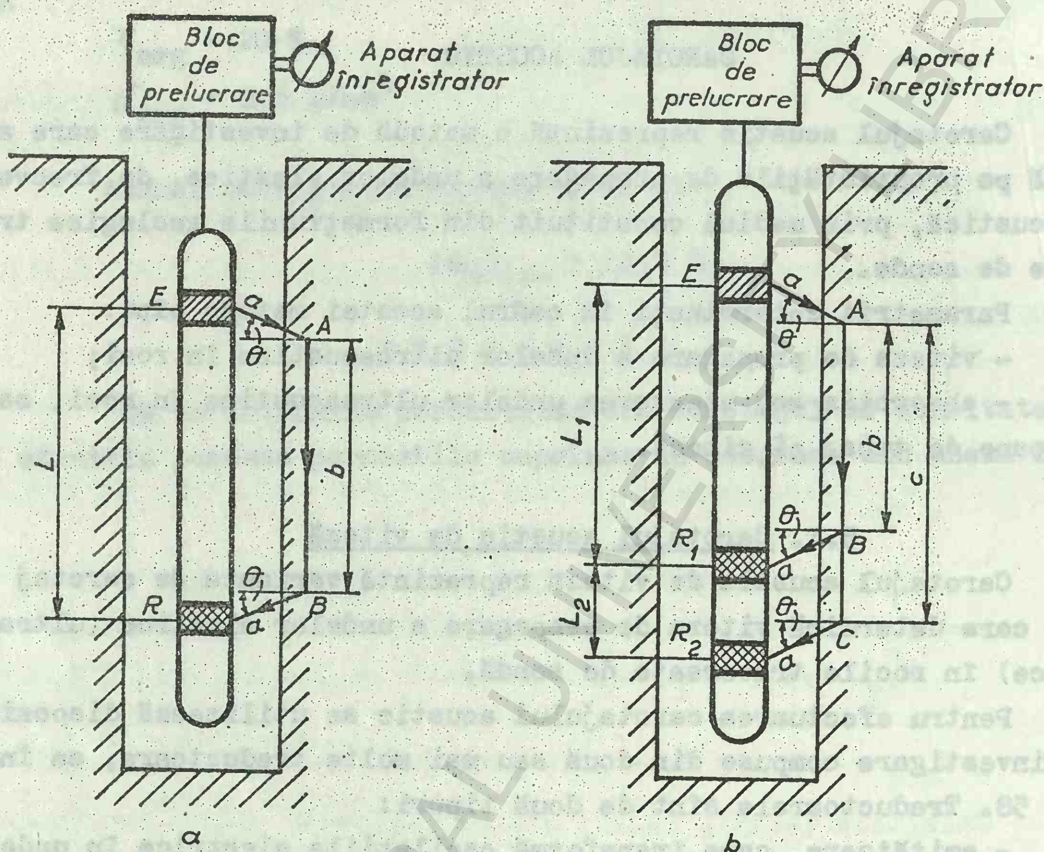


Fig.58. Scheme principiale de măsură în carotajul acustic : a- dispozitivul monoreceptor ; b- dispozitivul cu două receptoare.

Unda elastică care este transmisă de emiţător se propagă prin noroiul de foraj sub formă de undă longitudinală (compresională). La limita de separaţie dintre noroiul de foraj şi formaţiune, unda suferă o refracţie, iar altă parte din această energie va fi reflectată şi nu va interveni în procesul de măsură.

Partea din semnal care întîlneşte limita de separaţie în punctul A, sub un unghi faţă de normală mai mic decît unghiul critic θ, conform legii lui Snell va suferi o refracţie totală şi se va propaga de-a lungul peretelui sondei AB.

Unghiul critic este dat de relaţia:

$$\sin \theta = \frac{V_n}{V_f} \qquad (5.1)$$

unde:

V_n este viteza în noroi şi

V_f - viteza de propagare prin formaţie.

Timpul de parcurs al semnalului de la E la R se poate exprima prin relaţia:

$$t_{ER} = t_{AB} + (t_{EA} + t_{BR}) \qquad (5.2)$$

sau, dacă se exprimă timpii în funcţie de spaţiu şi de vitezele de propagare:

$$t_{ER} = \frac{b}{V_r} + \frac{2a}{V_n} \qquad (5.3)$$

în care:

b - distanţa parcursă prin rocă

a - distanţa parcursă prin noroiul de foraj

V_r - viteza de propagare prin rocă

Din relaţia (5.3) se poate constata că timpul de parcurs în cazul dispozitivului monoreceptor depinde nu numai de viteza de propagare prin formaţie, ci şi de cea prin noroi, V_n, de distanţa dintre dispozitiv şi peretele sondei, precum şi de poziţia dispozitivului de investigare în sondă.

2. <u>Dispozitivul cu două receptoare (dual)</u> (fig.59.b) este constituit dintr-un emiţător E şi două receptoare R_1 şi R_2, avînd rolul de a compensa efectul timpului parcurs prin noroi.

Timpul de parcurs dintre emiţător şi receptorul R_1 poate fi scris sub forma:

$$t_{ER_1} = t_{EA} + \frac{AB}{V_r} + t_{BR_1} \qquad (5.4)$$

iar timpul de parcurs dintre emiţător şi receptorul R2

$$t_{ER_2} = t_{EA} + \frac{AC}{V_r} + t_{CR_2} \qquad (5.5)$$

unde:

t_{EA}, t_{BR_1} şi t_{CR_2} reprezintă timpii parcurşi prin noroi.

Dacă se măsoară diferenţa de timp de parcurs dintre receptorii R_1 şi R_2 se obţine, din scăderea relaţiilor (5.4) şi (5.5)

$$\Delta t = t_{ER_2} - t_{ER_1} = \frac{BC}{V_r} = \frac{L_2}{V_r} \qquad (5.6)$$

unde s-a considerat că timpii parcurşi în noroi în dreptul receptoarelor ($t_{BR_1} = t_{CR_2}$), prin paralelismul dispozitivului de investigare cu peretele sondei, iar L_2 este lungimea dispozitivului dual (distanţa R_1R_2), în pic.

În modul acesta, viteza prin rocă se poate determina simplu:

$$V_r = \frac{L_2}{\Delta t} \qquad (5.7)$$

nemaifiind afectată de timpul de parcurs prin noroi a undei elastice.

Se utilizează şi dispozitive compensate pentru efectul găurii de sondă, cu două emiţătoare şi patru receptoare, care asigură eliminarea efectului variaţiei diametrului sondei datorită formării cavernelor.

Diagrafia acustică de viteză conţine două curbe (Anexa B_{15})

- curba t, care reprezintă timpul de parcurs unitar pînă la primul receptor al unui dispozitiv dual (raportată la lungimea L_1 a dispozitivului);
- curba Δt, care reprezintă timpul de parcurs unitar între cei doi receptori (raportat la lungimea dispozitivului L_2).

Aplicaţiile carotajului acustic de viteză

- corelarea profilelor de sondă (în special corelarea la distanţe mari);
- interpretarea datelor prospecţiunilor seismice;
- determinarea naturii litologice a rocilor şi a compoziţiei mineralogice a acestora (în combinaţie cu carotajul neutronic şi gama-gama de densitate);
- determinarea porozităţii rocilor colectoare.

5.2. Carotajul acustic de cimentare

Carotajul acustic de cimentare reprezintă o variantă a carotajului acustic care se utilizează în sondele tubate şi cimentate. Acesta se bazează pe măsurarea timpului de parcurs al undei elastice în coloana de tubaj, precum şi pe atenuarea sau absorbţia acesteia pe parcursul din coloană, putînd da indicaţii asupra gradului de aderenţă a cimentului la coloană şi la roca înconjurătoare.

Diagrafia de carotaj acustic de cimentare (fig.59) conţine două curbe:

- curba de timp t, determinată cu un dispozitiv monoreceptor ER;
- curba de amplitudine A, care măsoară atenuarea sau absorbţia undei elastice transmise prin coloană, datorită acţiunii inelului de ciment aderent la coloană; cu cît amplitudinea este mai mare cu atît atenuarea sau adsorbţia este mai mică.

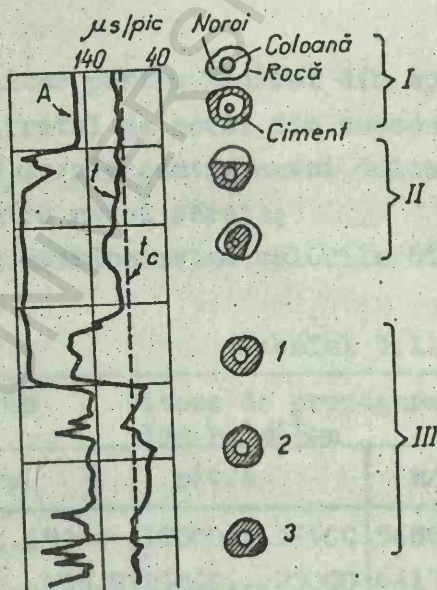


Fig.59. Diagrafia acustică de cimentare : A- curba de amplitudine; t- curba de timp ; t_c - timpul coloanei de 57 μs/pic.

Carotajul acustic de cimentare se interpretează pe baza aspectului celor două curbe, avînd următoarele cazuri:

I. lipsă aderenţă sau lipsa de ciment, cînd coloana este liberă; timpul t coincide cu valoarea timpului în coloană, iar amplitudinea este mare;

II. aderenţă parţială, cînd numai o parte din inelul de ciment aderă la coloană sau la formaţie; timpul t coincide cu valoarea timpului în coloană, iar amplitudinea este mică;

III. aderenţă bună a cimentului la coloană şi la formaţie, distingîndu-se în acest caz trei situaţii:

1. viteza undelor elastice în rocă este mai mică decît cea în coloană (fier); valoarea timpului t este aproximativ egală cu timpul caracteristic rocii înconjurătoare, iar amplitudinea este foarte

mică;

2. viteza undelor elastice în rocă este aproximativ egală cu cea în coloană;

3. viteza undelor elastice în rocă este mai mare decît cea în coloană; valoarea timpului este aproximativ egală cu timpul caracteristic rocii înconjurătoare şi apropiată de timpul caracteristic coloanei, iar amplitudinea este mare.

LUCRAREA NR. 15

DETERMINAREA POROZITATII DIN CAROTAJUL ACUSTIC DE VITEZA

In cazul carotajului acustic de viteză, într-o formaţiune consolidată cu porozitate intergranulară, avînd porii relativ mici, distribuiţi în mod uniform, timpul de parcurs al undelor elastice, Δt, reprezentînd răspunsul dispozitivului de investigare, poate fi exprimat prin relaţia lineară stabilită de Wyllie:

$$\Delta t = m\Delta t_f + (1-m)\Delta t_{ma} \qquad (5.8)$$

unde:

- Δt_f este timpul de parcurs unitar pentru fluidul din spaţiul poros, respectiv filtratul de noroi din subzona spălată (Δt_f = 189 μs/pic pentru noroi dulce şi Δt_f = 185 μs/pic pentru noroi sărat);
- Δt_{ma} – timpul de parcurs în matrice avînd valorile din tabelul de mai jos:

Tabelul 5.1.

Rocă	Timpul unitar de parcurs Δt_{ma}		Viteza de propagare $v_{ma} = 1/\Delta t_{ma}$	
	μs/pic	μs/m	pic/s	m/s
Nisipuri,gresii	51,2...55,5	168...182	18000...19500	5486...6943
Calcare	43,5...47,5	142,7...155,8	21000...23000	6417...7000
Dolomite	39 ...43,5	128...142,5	23000...25600	7000 7815
Anhidrite	50	164	20000	6096
Sare	67	219,8	14925	4550

Din relaţia (5.8) poate fi dedusă relaţia de determinare a porozităţii în carotajul acustic de viteză

$$m = \frac{\Delta t - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \qquad (5.9)$$

unde Δt reprezintă timpul de parcurs unitar citit pe diagrafie în dreptul stratului analizat. Relaţia (5.9) poate fi rezolvată grafic cu ajutorul abacei nr.37.

Pentru formaţiunile neconsolidate (nisipuri), timpul unitar de parcurs, Δt, este mai mare, pentru o anumită porozitate, decît cel

determinat din relaţia Wyllie (5.8), astfel că relaţia (5.9) pentru determinarea porozităţii este afectată de un "coeficient de compactare", C_p, care poate avea valori cuprinse între 1,1...1,6. In acest caz relaţia (5.9) devine:

$$m = \frac{\Delta t - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \cdot C_p \qquad (5.10)$$

iar rezolvarea ei grafică se efectuează tot cu ajutorul abacei nr. 37 pe baza liniilor punctate.

In cazul formaţiunilor cu conţinut de material argilos, răspunsul dispozitivelor de carotaj acustic este dat de relaţia tip Wyllie

$$\Delta t = m \Delta t_f + V_{arg} \Delta t_{arg} + (1 - m - V_{arg}) \Delta t_{ma} \qquad (5.11)$$

unde Δt_{arg} reprezintă timpul de parcurs unitar în materialul argilos.

Porozitatea efectivă, ca urmare a prezenţei materialului argilos în porii rocilor, este mai mică decît cea aparentă, fiind exprimată prin relaţia

$$m_{ef} = m_A - V_{arg} \cdot m_{arg} \qquad (5.12)$$

unde: m_A este porozitatea aparentă determinată din carotajul acustic conform relaţiilor (5.9), (5.10)

$m_{A arg}$ - indicele de porozitate al argilei din carotajul acustic, avînd expresia

$$m_{A,arg} = \frac{\Delta t_{arg} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \qquad (5.13)$$

Porozitatea efectivă pentru formaţiunile cu conţinut de material argilos poate fi determinată, prin rezolvare grafică, cu ajutorul abacei nr.38.

Modalitatea practică de determinare a porozităţii din carotajul acustic

Determinarea porozităţii conform relaţiilor (5.8) - (5.13) necesită cunoaşterea următoarelor date:

- timpul unitar de parcurs Δt[μs/pic] citit pe diagrafie în dreptul stratului de analizat în punctul de maxim;

- timpul unitar de parcurs în matrice Δt_{ma} [μs/pic], care poate fi determinat fie prin măsurători directe pe probe, fie indirect pe baza unui grafic de dependenţă rezistivitate - timp de parcurs. Pentru formaţiuni cu litologie simplă şi cunoscută se pot utiliza valoarea timpului unitar de parcurs indicat în tabelul 5.1;

- timpul unitar de parcurs prin fluid Δt_f - întrucît raza de investigaţie a carotajului acustic este relativ mică, măsurătorile raportîndu-se la subzona spălată, pentru Δt_f sînt acceptate valorile menţionate mai sus.

Ecuaţiile (5.9) şi (5.1o) au fost rezolvate grafic sub forma abacei nr.37, pentru o viteză în fluid de 5800 pic/μs (Δt_f = 189μs/pic) care este folosită pentru determinarea porozităţii.

Modul de lucru

a) formaţiuni consolidate

- se plasează în abscisă valoarea Δt, citită pe diagrafie;

- se ridică o verticală pînă intersectează dreapta cu viteza în matrice V_{ma} corespunzătoare litologiei stratului analizat.

Din punctul de intersecţie se duce o orizontală, iar în ordonată se citeşte valoarea porozităţii.

b) formaţiuni neconsolidate

In cazul formaţiunilor neconsolidate se determină în primul rînd mărimea "coeficientului de compactare" C_p.

Pentru aceasta, relaţia (5.1o) se va scrie

$$m = m_A \cdot C_p \qquad (5.14)$$

unde: m_A - este porozitatea din carotajul acustic determinată ca la pct.a

m - este porozitatea determinată din carotajul de densitate sau de rezistivitate.

Rezultă că:

$$C_p = \frac{m}{m_A} \qquad (5.15)$$

Cunoscînd valoarea "coeficientului de compactare" C_p, porozitatea corectată pentru efectul compactizării se determină astfel:

- se introduce în abscisă valoarea lui Δt şi se deplasează vertical pînă intersectează linia întreruptă al cărui modul cores-

punde cu valoarea lui "C_p" calculat anterior. Din punctul de intersecţie se duce o orizontală şi în ordonată se citeşte valoarea porozităţii corectate.

Exemplu

a) $\Delta t = 75\ \mu s/pic$ (citit din diagrafie)

$V_m = 18.000\ pic/\mu s$ (viteză corespunzătoare nisipurilor)

$m_a = 14,5\ \%$ (abaca nr.37)

b) $\Delta t = 104\ \mu s/pic$

$V_m = 18.000\ pic/\mu s$

$m_A = 36,5\ \%$

$m_D = 24\ \%$

$$\frac{1}{C_p} = \frac{m_A}{m_D} = \frac{36,5}{24} \cdot 100 = 152$$

$m_{A_{cor}} = 24,5\ \%$

c) formaţiuni argiloase

Porozitatea efectivă pentru formaţiuni cu conţinut de material argilos poate fi determinată şi prin rezolvare grafică, cu ajutorul abacei nr.38. Utilizarea acestei abace necesită cunoaşterea următorilor parametri:

- Δt - din diagrafie
- $V_{ma}(\Delta t_{ma})$ - stabilit în funcţie de litologie
- Δt_{arg} - citit pe diagrafie în dreptul unui strat de argilă
- V_{arg} - determinat din curba gama sau P.S.
- gradul de compactizare.

Modul de lucru cu această abacă este indicat prin săgeţi.

Exemplu

Stratul analizat este constituit dintr-o gresie compactă argiloasă pentru care s-au determinat

$\Delta t = 86\ \mu s/pic$

$\Delta t_{ma} = 19.000\ pic/\mu s$

$\Delta t_{arg} = 110\ \mu s/pic$

$V_{arg} = 20\ \%$

Se determină în primă etapă porozitatea necorectată pentru efectul argilei:

$$m = 24\ \%$$

Se face apoi corecţia pentru efectul argilei şi se obţine porozitatea efectivă,

$$m_{ef} = 14\ \%$$

Observaţie. Abaca nr.38 poate fi utilizată atît pentru formaţiuni argiloase cît şi pentru formaţiuni "curate"; se poate utiliza şi pentru cazurile a şi b.

Exerciţii

Să se determine porozităţile pentru stratele poroase-permeabile din diagrafia cuprinsă în anexa B_{15}.

LUCRAREA NR.16

EVALUAREA POROZITATII FORMATIUNILOR CU LITOLOGIE COMPLEXA

Răspunsurile în diagrafiile neutronice, de densitate şi acustice depind, după cum s-a văzut anterior, nu numai de porozitate, ci şi de litologia formaţiunilor investigate. Cunoscînd litologia şi, respectiv parametrii matricei Δt_{ma}, σ_{ma} şi $m_{N_{ma}}$, este posibilă evaluarea porozităţii intergranulare cu o singură metodă de porozitate, la care se adaugă eventual o a doua metodă - cum ar fi diagrafia gama naturală - pentru determinarea volumului de material argilos.

Problema se complică în cazul în care matrice este formată din doi sau mai mulţi constituienţi mineralogici, cu sau fără conţinut de material argilos şi cu sau fără porozitate secundară.

In continuare se va prezenta rezolvarea problemei pentru:

Roci "curate" cu porozitate intergranulară, formate din doi constituenţi mineralogici principali

In cazul rocilor carbonatate cele mai frecvente amestecuri binare (cu doi constituenţi mineralogici) sînt: calcit/dolomit, calcit/silice, dolomit/silice, dolomit/anhidrit.

Pentru roci grezoase-nisipoase, combinaţiile cele mai posibile sînt: silice/calcit, silice/dolomit.

Pentru aceste cazuri dacă se dispune de două metode de porozitate, pot fi utilizate o serie de grafice de dependenţă de forma: CN/CD, CN/CA, CD/CA.

a) Determinarea porozităţii din diagrafia combinată-carotaj neutronic şi carotajul gama - gama de densitate

Dependenţa $\sigma = f(m_N)$ poate fi rezolvată grafic cu ajutorul abacei nr.39 $\sigma_f = 1\ g/cm^3$ şi abaca nr.40 pentru $\sigma_f = 1{,}1\ g/cm^3$ (respectiv noroi dulce şi noroi mineralizat). Liniile caracteristice pentru gresii, calcare, dolomite, anhidrite cuprinse în abace sînt gradate în unităţi de porozitate, astfel că pentru un punct determinat de două citiri pe diagrafia neutronică şi de densitate se poate stabili, atît conţinutul litologic, cît şi porozitatea.

Dacă punctul determinat cade între două linii caracteristice, matricea este compusă din cele două minerale, fiecare în procen-

taj inversă proporţional cu distanţa dintre punct şi linia caracteristică respectivă.

b) Determinarea porozităţii din diagrafia combinată - carotajul neutronic şi carotajul acustic

Dependenţa $\Delta t = f(m_N)$ se poate rezolva grafic cu ajutorul abacelor nr.41 pentru $\Delta t_f = 189\ \mu s/pic$ şi nr.42 pentru $\Delta t_f = 185\ \mu s/pic$. Cele două abace reprezintă rezolvarea grafică a răspunsului carotajului neutronic şi carotajului acustic.

c) Determinarea porozităţii din diagrafia combinată - carotaj de densitate - carotaj acustic

Dependenţa $\delta = f(\Delta t)$ este rezolvată grafic în abaca nr.43 pentru $\delta_f = 1,0\ g/cm^3$ şi $\Delta t_f = 189\ \mu s/pic$.

Modul de lucru

- Din diagrafie se citesc următoarele valori în dreptul stratului analizat:
  - δ - densitatea globală din carotajul de densitate $[g/cm^3]$
  - Δt - timpul de parcurs unitar, pe diagrama de carotaj acustic $[\mu s/pic]$
  - $m_{N,calc}$ - porozitatea aparentă pentru o matrice calcaroasă citită direct din carotajul neutronic compensat sau determinată din carotajul neutronic epitermal.
- Se alege graficul dual respectiv, în funcţie de combinaţia de carotaje disponibile şi de natura fluidului de foraj.
- Se plasează valorile citite sau determinate pe abscisă şi ordonată şi se determină punctul de coordonate:

  (m_N, δ) pentru combinaţia CN/CD

  $(m_N, \Delta t)$ pentru combinaţia CN/CA

  $(\Delta t, \delta)$ pentru combinaţia CD/CA

In funcţie de poziţia punctului se determină procentual cantitatea de minerale constituente ale matricei precum şi porozitatea.

Exemplu

a) Combinaţia CN/CD

Din diagrafie s-au citit următoarele valori:

$m_{N,calc} = 20\ \%$

$\delta = 2,3\ g/cm^3$
$\delta_f = 1\ g/cm^3$

Se obţin cu abaca nr.39, valorile

$m = 22,5\ \%$

Matricea este formată din calcar = 40 % şi gresie 60 %.

b) Combinaţia CN/CA

Din diagrafie s-au citit următoarele valori:

$m_{N'calc} = 20\ \%$

$\Delta t = 84\ \mu s/pic$

$\Delta t_f = 189\ \mu s/pic.$

Se obţin cu abaca nr.41, valorile

$m = 22,0\ \%$

Matricea este formată din calcar = 55 % şi gresie = 65 %

c) Combinaţia CD/CA

Pentru aceleaşi valori, respectiv: $\left\{ \begin{array}{l} \Delta t = 84\ \mu s/pic. \\ \delta = 2,3\ g/cm^3 \end{array} \right.$

$\delta_f = 1,0\ g/cm^3$

$\Delta t_f = 189\ \mu s/pic.$

Se obţin cu abaca nr.43, valorile

$m = 21\ \%$

Matricea este formată din calcar 80 % şi gresie 20 %.

Efectul porozităţii secundare. In prezenţa porozităţii secundare, produse de fisuri, fracturi sau de efectul porozităţii vacuolare răspunsul celor trei metode de porozitate este diferit.

Astfel, diagrafia acustică nu este influenţată decît în foarte mică măsură de porozitatea secundară, răspunsul depinzînd în primul rînd de porozitatea primară, respectiv de tip intergranular sau intercristalin.

Pe de altă parte carotajul neutronic şi de densitate, răspunsul pe diagrafie este determinat de porozitatea totală, incluzînd porozitatea intergranulară şi porozitatea secundară.

Aceasta are ca efect pe graficele de tip CN/CA sau CD/CA o deplasare a punctelor caracteristice faţă de linia de litologie corespunzătoare şi obţinerea unor valori de porozitate mai mici decît a celei reale. In schimb pe graficele CN/CD se obţine o valoare corectă a

porozităţii totale.

Pe aceste considerente se bazează posibilitatea determinării indicelui de porozitate secundară, m_s, cunoscînd de exemplu porozitatea totală, determinată ca la punctul a, şi porozitatea din carotajul acustic m_A, determinată conform relaţiei (5.9),

$$m_s = m_{ND} - m_A \qquad (5.16)$$

E X E R C I T I I

Să se determine porozitatea pentru stratele poroase permeabile din diagrafiile cuprinse în anexele B_{12}, B_{14}, B_{15}.

CAPITOLUL VI

DETERMINAREA CONTINTULUI IN FLUIDE SI A COEFICIENTILOR DE SATURATIE

Pentru stabilirea potenţialului productiv al oricărei roci colectoare este necesar să se stabilească conţinutul în hidrocarburi şi apă. Estimarea potenţialului productiv se poate efectua prin prelucrarea diagrafiei geofizice, atît pentru formaţiuni "curate" (fără conţinut de argilă), cît şi pentru formaţiuni argiloase.

In procesul de interpretare cantitativă, în scopul determinării saturaţiei trebuie străbătute o serie de etape ale interpretării, după cum urmează:

- determinarea grosimii efective şi a limitelor colectorului,
- determinarea rezistivităţii reale, ρ_R,
- determinarea rezistivităţii subzonei spălate, ρ_{io},
- determinarea rezistivităţii apei de zăcămînt, ρ_{ai},
- determinarea porozitaţii, m,
- determinarea factorului de formaţie, F,
- determinarea saturaţiei în apă şi hidrocarburi S_A şi S_H.

1) <u>Formaţiuni "curate"</u>

In cazul formaţiunilor colectoare cu hidrocarburi - petrol şi/sau gaze - izolante din punct de vedere electric, rezistivitatea reală a formaţiunii depinde pe lîngă factorul de formaţie, F, şi rezistivitatea apei de zăcămînt, ρ_{ai}, şi de de coeficientul de saturaţie în apă S_A.

a) Pentru formaţiuni "curate", dependenţa dintre saturaţia în apă şi rezistivitatea reală ρ_R este dată de relaţia empirică stabilită de Archie

$$S_A = \sqrt[n]{\frac{F \cdot \rho_{ai}}{\rho_R}} \qquad (6.1)$$

Factorul de formaţie este evaluat prin intermediul porozităţii cu ajutorul relaţiilor Archie sau Humble (vezi abaca nr. 2) astfel că formulele practice de calcul a conţinutului în apă devin:

$$S_A = \sqrt[n]{\frac{a}{m^{\nu}} \cdot \frac{\rho_{ai}}{\rho_R}} \quad \text{(pentru roci consolidate)}$$

sau (6.2)

$$S_A = \sqrt[n]{\frac{0,62}{m^{2,15}} \cdot \frac{\rho_{ai}}{\rho_R}} \quad \text{(pentru roci neconsolidate)}$$

Pentru utilizarea relaţiilor de mai sus sînt necesare următoarele date:

- rezistivitatea apei de zăcămînt (ρ_{ai}) la temperatura formaţiei;
- factorul de formaţie (F) sau porozitatea (m);
- rezistivitatea reală (ρ_R) a formaţiunilor la adîncimea dată.

Obţinerea acestor date a fost prezentată în capitolele anterioare. Rezolvarea grafică a ecuaţiei (6.1) este dată de nomograma nr. 44 şi se utilizează în modul următor:

- se plasează valorile cunoscute ρ_{ai} şi F pe scalele respective şi se unesc cu o dreaptă care se prelungeşte pînă la următoarea scală; valoarea obţinută reprezintă rezistivitatea pe care ar fi avut-o roca saturată cu apă, ρ_{Ri};
- se plasează valoarea rezistivităţii reale ρ_R a rocii de cercetat pe următoarea scală şi se uneşte cu valoarea ρ_{Ri} determinată anterior; prelungirea dreptei determină pe cea de-a cincea scală a nomogramei valoarea raportului ρ_{Ri}/ρ_R;
- se uneşte această valoare cu exponentul de saturaţie, n; dreapta obţinută se prelungeşte pînă la intersecţia cu ultima scală pe care se citeşte conţinutul în apă al colectorului.

Cunoscînd S_A, se calculează imediat conţinutul în hidrocarburi totale cu relaţia:

$$S_H = 1 - S_A \quad (6.3)$$

<u>Exemplu</u>

S-au determinat următoarele date:

$\rho_{ai} = 0,04\,\Omega m$

$F = 40$

$\rho_R = 15\,\Omega m$

$n = 2$

Cu nomograma nr. 44 , se determină:

$S_A = 30$ %

$S_H = 1 - S_A = 1 - 0,3 = 0,7$; $S_H = 70$ %

b) Ţinînd seama de relaţia de definiţie a factorului de formaţie, se poate scrie:

$$\rho_{Ri} = F \cdot \rho_{ai} \tag{6.4}$$

Atunci relaţia (6.1) devine

$$S_A = \sqrt[n]{\frac{\rho_{Ri}}{\rho_R}} \tag{6.5}$$

sau

$$S_A = \sqrt[n]{\frac{1}{I_\rho}} \tag{6.6}$$

unde: I_ρ este indicele de rezistivitate definit de raportul $I_\rho = \frac{\rho_R}{\rho_{Ri}}$

Indicele de rezistivitate constituie un indicator estimativ al conţinutului colectorului şi permite determinarea saturaţiei în apă, respectiv în hidrocarburi cu ajutorul relaţiei (6.6), rezolvată grafic în abaca nr.45. Modul de lucru este:

- se plasează în ordonată valoarea indicelului de rezistivitate şi se duce o dreaptă orizontală pînă intersectează curba al cărui modul dă valoarea exponentului de saturaţie, n;
- prin punctul de intersecţie se ridică o verticală, citindu-se în abscisa de sus valoarea saturaţiei în apă iar în abscisa de jos saturaţia în petrol.

Valoarea saturaţiei în apă caracterizează conţinutul colectorului, în funcţie de "saturaţia critică" , S_c, de la care capacitatea zăcămîntului de a permite circulaţia fazei hidrocarburilor scade brusc în favoarea fazei apă. In general, ţinînd seama de dependenţa dintre permeabilităţile relative pentru apă, respectiv hidrocarburi, în funcţie de saturaţiile respective (fig.60), saturaţia critică corespunde în majoritatea cazurilor unei valori $S_A = 0,5$, respectiv 50 %. Această valoare reprezintă valoarea limită sub care, în interpretare, colectorul este caracterizat "cu conţinut de hidrocarburi" şi peste care caracterizarea este "cu conţinut de apă".

Exemplu

Se dau următoarele valori determinate anterior:

$m = 20$ %

$\nu = 2$

$\rho_{ai} = 0{,}04 \Omega m$

$\rho_R = 12 \Omega m$

$n = 2$

Se determină:

$F = 27$

$\rho_{Ri} = F \cdot \rho_{ai} = 1{,}08 \Omega m$

$I_\rho = \frac{\rho_R}{\rho_{Ri}} = \frac{12}{1{,}08} = 11{,}1$

Cu abaca nr. , se obţine

$S_A = 29$ %

$S_H = 71$ %

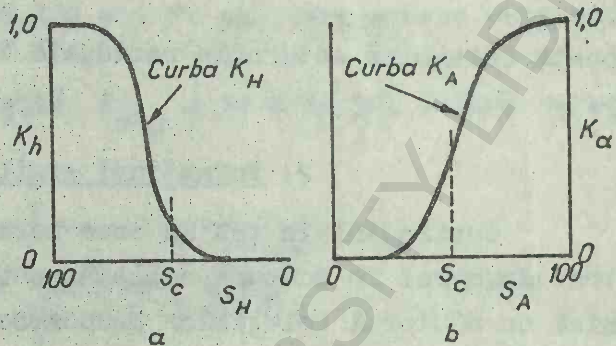


Fig.60. Dependenţa dintre coeficienţii de permeabilitate relativă şi saturaţie: a- $K_H = f(S_H)$; b- $K_A = f(S_A)$. (după Pickett)

Avînd în vedere saturaţia critică de 50 % colectorul se caracterizează "cu conţinut de hidrocarburi".

Determinarea conţinutului în hidrocarburi reziduale

Saturaţia în hidrocarburi reziduale, cantonate în subzona spălată a stratului colector, în urma fenomenului de invazie a filtratului de noroi, poate fi determinată în mod analog, cu deosebirea că în locul valorilor de saturaţie în apă - S_A, respectiv hidrocarburi - S_H, se vor considera valorile saturaţiei în filtrat - S_{io}, şi respectiv saturaţia reziduală în hidrocarburi - S_{rh}.

Relaţia (6.1) poate fi scrisă pentru subzona spălată:

$$S_{io} = \sqrt[n]{\frac{F \cdot \rho_{fn}}{\rho_{io}}} \qquad (6.7)$$

Rezolvarea ecuaţiei (6.7) necesită cunoaşterea următoarelor date:

- ρ_{io} - rezistivitatea subzonei spălate,
- ρ_{fn} - rezistivitatea filtratului de noroi,
- F - factorul de formaţie.

Cunoscînd saturaţia în filtrat de noroi, S_{io}, pe baza relaţiei

$$S_{rh} = 1 - S_{io} \qquad (6.8)$$

se poate determina saturaţia reziduală în hidrocarburi.

2. Formaţiuni argiloase

Conţinutul în apă în zona necontaminată şi conţinutul în filtrat de noroi în subzona spălată pentru formaţiuni argiloase se determină cu ajutorul relaţiilor Poupon-Leveaux:

$$S_A = \frac{1}{\left[\frac{V_{arg}^{\xi}}{\sqrt{\rho_{arg}}} + \frac{m^{\frac{\nu}{2}}}{\sqrt{a \cdot \rho_{ai}}}\right]^{\frac{2}{n}} \sqrt{\rho_R}} \qquad (6.9)$$

$$S_A = \frac{1}{\left[\frac{V_{arg}^{\xi}}{\sqrt{\rho_{arg}}} + \frac{m^{\frac{\nu}{2}}}{\sqrt{a \cdot \rho_{fn}}}\right]^{\frac{2}{n}} \sqrt{\rho_{io}}} \qquad (6.10)$$

în care: ν este factorul de cimentare;

a - un coeficient litologic a cărui valoare este egală cu 0,8 pentru formaţiuni grezos-nisipoase şi 1 în formaţiuni carbonatate

$\xi = 1 - \frac{V_{arg}}{2}$

n - exponentul de saturaţie

Pentru n = ν = 2 relaţiile (6.9) şi (6.10) devin

$$S_A = \frac{1}{\left[\frac{V_{arg}^{\left(1 - \frac{V_{arg}}{2}\right)}}{\sqrt{\rho_{arg}}} + \frac{m}{\sqrt{a \cdot \rho_{ai}}}\right] \sqrt{\rho_R}} \qquad (6.11)$$

$$S_{io}=\frac{1}{\left[\frac{V_{arg}^{\left(1-\frac{V_{arg}}{2}\right)}}{\sqrt{\rho_{arg}}}+\frac{m}{\sqrt{a\cdot\rho_{fn}}}\right]\sqrt{\rho_{io}}} \qquad (6.12)$$

Relaţiile (6.11) şi (6.12) pot fi aplicate pentru conţinuturi în argilă $V_{arg} \cong 40 - 90$ %.

La conţinuturi în argilă $V_{arg} < 10$ % se pot folosi relaţiile simplificate:

$$S_{A}=\frac{1}{\left[\frac{V_{arg}}{\sqrt{\rho_{arg}}}+\frac{m}{\sqrt{a\cdot\rho_{ai}}}\right]\sqrt{\rho_{R}}} \qquad (6.13)$$

şi

$$S_{io}=\frac{1}{\left[\frac{V_{arg}}{\sqrt{\rho_{arg}}}+\frac{m}{\sqrt{a\cdot\rho_{fn}}}\right]\sqrt{\rho_{io}}} \qquad (6.14)$$

Abacele nr.46, 47 asigură rezolvarea grafică pentru determinarea saturaţiei în apă în zona necontaminată.

Datele necesare sînt:

- ρ_R - rezistivitatea reală a stratului
- ρ_{ai} - rezistivitatea apei de zăcămînt
- m - porozitatea efectivă
- ρ_{arg} - rezistivitatea argilei
- V_{arg} - volumul de argilă.

<u>Modul de lucru:</u>

- Se calculează coeficientul

$$A = m^{\frac{\nu}{2}}\sqrt{\frac{\rho_R}{\rho_{ai}}} \qquad (6.15)$$

Pentru aceasta se plasează valorile ρ_R şi ρ_{ai} pe scalele respective şi se unesc cu o linie care se prelungeşte pînă la dreapta pivot; punctul rezultat de pe dreapta pivot se uneşte cu punctul de intersecţie dintre valoarea porozităţii m şi factorul de cimentare ν; dreapta rezultată se prelungeşte pînă la următoarea scală

pe care se citeşte valoarea lui A.

- Se calculează apoi coeficientul

$$B = V_{arg}^{\left(1-\frac{V_{arg}}{2}\right)} \sqrt{\frac{\rho_R}{\rho_{arg}}} \qquad (6.16)$$

Modul de lucru este acelaşi ca şi pentru coeficientul A cu deosebirea că pe cea de-a doua scală se plasează valoarea ρ_{arg}.

Valorile celor doi coeficienţi se introduc în abaca nr. 47. Se plasează în ordonată valoarea lui A, iar în abscisă valoarea lui B pentru coeficientul litologic, a, corespunzător. Se determină punctul de coordonate (A, B). Modulul curbei care trece prin punctul de intersecţie reprezintă S_A.

Exemplu

S-au determinat următoarele valori:

$\rho_R = 16\ \Omega\,m$
$\rho_{arg} = 1\ \Omega\,m$
$V_{arg} = 15\ \%$
$\rho_{ai} = 0{,}09\ \Omega\,m$
m = 27 %
a = 0,8
ν = 2
n = 1,6

Din nomograma nr. 46 se obţin valorile:

A = 3,5
B = 0,6

Cunoscînd valoarea coeficienţilor A şi B cu abaca nr.   se determină cu abaca nr. 47

$S_A = 17\ \%$
$S_H = 83\ \%$

3) Determinarea saturaţiei în apă prin metoda raportului

Relaţiile (6.1), pentru saturaţia în apă în colector şi (6.7) pentru saturaţia în filtrat de noroi în subzona spălată pot fi scrise sub forma (pentru n = 2)

$$S_A^2 = \frac{F \cdot \rho_{ai}}{\rho_R} \qquad (6.17.a)$$

$$S_{io}^2 = \frac{F \cdot \rho_{fn}}{\rho_{io}} \qquad (6.17.b)$$

Făcînd raportul celor două relaţii se obţine

$$\left[\frac{S_A}{S_{io}}\right]^2 = \frac{\rho_{ai}/\rho_R}{\rho_{fn}/\rho_{io}} = \frac{\rho_{io}/\rho_R}{\rho_{fn}/\rho_{ai}} \qquad (6.18)$$

Această relaţie asigură obţinerea raportului S_A/S_{io} numai din măsurători de rezistivitate şi anume:

ρ_R - rezistivitatea reală determinată din diagrafia de inducţie, laterolog sau D.R.R.

ρ_{io} - rezistivitatea subzonei spălate determinată din diagrafia de microdispozitive.

Raportul ρ_{fn}/ρ_{ai} poate fi determinat dintr-o curbă de P.S. Din (6.18) poate fi dedusă valoarea coeficientului S_A:

$$S_A = S_{io}\left[\frac{\rho_{io}/\rho_R}{\rho_{fn}/\rho_{ai}}\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (6.19)$$

Pentru invazii moderate şi o saturaţie reziduală în hidrocarburi în subzona spălată de valoare "medie" se poate stabili o relaţie empirică între S_{io} şi S_A de forma

$$S_{io} = S_A^{\frac{1}{5}} \qquad (6.20)$$

Introducînd (6.20) în (6.19) se obţine pentru S_A expresia:

$$S_A = \left[\frac{\rho_{io}/\rho_R}{\rho_{fn}/\rho_{ai}}\right]^{\frac{5}{8}} \qquad (6.21)$$

Pentru determinarea S_A se poate folosi abaca nr.47, plecînd de la valorile raportului ρ_{io}/ρ_R. Opţional se pot utiliza în loc de ρ_{fn}/ρ_{ai} valorile de P.S.

<u>Exemplu</u>

$\rho_{io} = 15\Omega m$

$\rho_R = 3\Omega m$

$\rho_{fn} = 0{,}8\Omega m$

$\rho_{ai} = 0{,}04\Omega m$

$S_{io} = 20\ \%$

Se calculează rapoartele:

$$\frac{\rho_{io}}{\rho_R} = 5 \quad ; \quad \frac{\rho_{fn}}{\rho_{ai}} = 20$$

Cu abaca nr.47 se determină

$$S_A = 41\ \%$$

CAPITOLUL VII

MASURAREA DEVIATIEI ORIENTATE A SONDELOR SI DETERMINAREA ORIENTARII INSTRUMENTELOR DE DEVIERE IN FORAJUL DIRIJAT

In general sondele nu se forează vertical. La majoritatea sondelor există o abatere a profilului sondei faţă de verticala locului, determinată de următoarele cauze:

- cauze geologice: prezenţa unor strate cu înclinări mari faţă de orizontală şi alternanţa unor strate cu rezistenţă mecanică mare cu strate de rezistenţă mecanică mică;
- cauze tehnice: aplicarea unor greutăţi mari pe sapă în cursul forajului, flexibilitatea prăjinilor de foraj sau excentricitatea mesei rotative;
- cauze obiective: cînd sondele sînt forate dirijat, respectiv într-o anumită direcţie, şi avînd o anumită înclinare faţă de verticală, în scopul rezolvării unor probleme, cum sînt:
- aducerea sondelor într-un gabarit de exploatare stabilit, în cazul terenurilor accidentate, mlaştinilor, apelor adînci, prezenţei unor clădiri sau alte construcţii,
- exploatarea unui zăcămînt ecranat de un masiv de sare diapir,
- pentru conturarea unui zăcămînt în cazul unei sonde care a interceptat zona de apă,
- pentru detectarea ariilor productive în zonele de falii,
- pentru salvarea sondelor de erupţie,
- pentru săparea unor găuri noi de sondă în urma unor accidente tehnice (prinderea garniturii de prăjini, rămînerea la puţ a unor dispozitive şi altele).

7.1. Măsurarea deviaţiei orientate a sondelor

7.1.1. Elementele care caracterizează abaterea sondei de la verticală sînt (fig.61):

- înclinarea sondei (deviaţia) reprezintă unghiul, v, dintre verticala locului Oz şi linia care materializează traseul real al sondei;
- orientarea sondei reprezintă unghiul, Ø, dintre planul Oz Z

definit de linia găurii de sondă şi verticala locului, şi planul care trece prin direcţia nord-sud şi verticala locului.

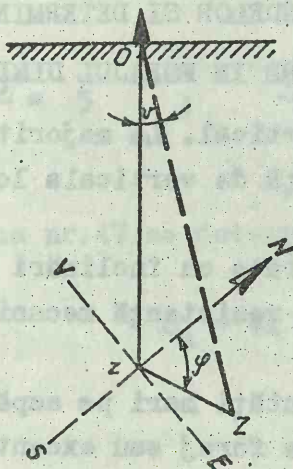


Fig. 61. Elementele de înclinare şi orientare a sondei

In măsurarea elementelor de înclinare şi în prelucrarea rezultatelor se consideră că profilul sondei prezintă înclinări şi orientări constante pe intervale H de 50-100 m. Pe aceste intervale se pot defini:

- proiecţia orizontală

$$H_o = H \sin v \qquad (7.1)$$

- proiecţia verticală

$$H_v = H \cos v \qquad (7.2)$$

- pierderea de înălţime

$$\Delta H = H - H_v \qquad (7.3)$$

Pierderea de înălţime reprezintă diferenţa dintre adîncimea găurii de sondă măsurată în planul ei de înclinare şi proiecţia acestei distanţe în plan vertical.

7.1.2. Aparatul pentru măsurarea deviaţiei orientate a sondelor

Deviaţia orientată a sondelor se măsoară cu ajutorul aparatului denumit fotoînclinometru **Z** (construit de inginerul român Grigore Zmieureanu).

Elementul principal al fotoînclinometrului îl constituie busola care conţine: un pendul suspendat cardanic şi care are un inel cu fire reticulare; o sticlă concavă, pe care sînt gravate cercuri concentrice care reprezintă unghiurile de înclinare, în grade; un ac magnetic solidar cu un disc gradat pe care sînt marcate valorile de azimut.

Deasupra busolei se găseşte un obiectiv fotografic, care asigură fotografierea poziţiei pendulului pe discul gradat şi a discului de azimut; pentru fotografiere se foloseşte o sursă de lumină S, constituită dintr-o serie de becuri.

Filmul fotografic pe care se imprimă imaginea este inclus într-o casetă, acţionată cu ajutorul unui mecanism şi comandată de un

electromagnet acţionat de la suprafaţă.

Măsurarea se execută în puncte, la adîncimea unde se determină înclinarea. La fiecare punct se obţine o imagine fotografică, ca în figura 62.

Unghiul de înclinare este dat de numărul de cercuri concentrice pe care se află centrul firelor reticulare ale pendulului.

Orientarea (azimutul) se determină prin măsurarea unghiului Ø pe care-l face direcţia nord magnetic cu dreapta ce uneşte centrul imaginii cu centrul firelor reticular.

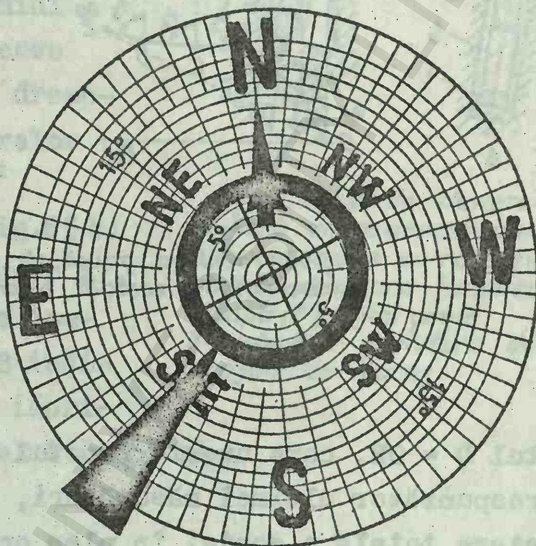


Fig. 62

7.1.3. Reprezentarea grafică a proiecţiilor orizontale şi verticale

Reprezentarea grafică în plan orizontal şi vertical a proiecţiilor sondei se realizează pe baza relaţiilor (6.1), (6.2) şi (6.3), pe intervale constante de adîncime H (fig.63).

Pentru reprezentarea grafică în plan orizontal se aleg două axe rectangulare nord şi est; originea O a acestora corespunde locaţiei sondei la suprafaţă.

Dacă se consideră patru puncte la adîncimile H_1, H_2, H_3, H_4 în care se determină valorile de înclinare şi azimut v_1; $Ø_1$; v_2, $Ø_2$; v_3, $Ø_3$; v_4, $Ø_4$; se determină proiecţia orizontală astfel:

- în punctul O se ia un segment $\overline{OA}$ de lungime $H_{o1} = H_1 \sin v_1$ care face un unghi $Ø_1$ cu direcţia N;

- din punctul A se duce segmentul $\overline{AB}$, de lungime $H_{o2} = H_2 \sin v_2$ la un unghi $Ø_2$ faţă de N şi aşa mai departe cu celelalte

puncte, obţinîndu-se graficul proiecţiei orizontale OABCDE (fig.63.a)

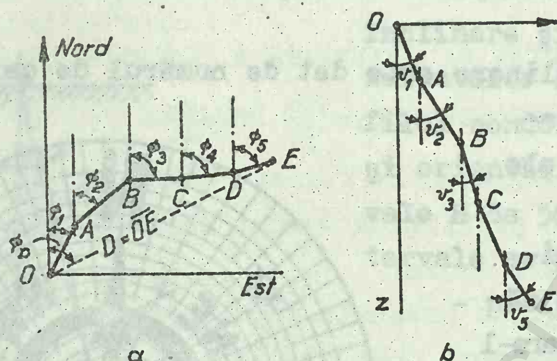


Fig.63. Proiecţia găurii de sondă deviate:
a - proiecţia orizontală; b - proiecţia verticală.

Segmentul D = OE, care uneşte punctul locaţiei la suprafaţă şi punctul corespunzător ultimei măsurători, se numeşte deplasare la talpă sau abatere totală a sondei în plan orizontal, care face un unghi de orientare $Ø_D$ cu direcţia nord.

In mod analog se reprezintă şi proiecţia în plan vertical, reprezentîndu-se segmentele $H_{1v} = H_1 \cos v_1 \ldots H_{4v} = H_4 \cos v_4$, sub unghiurile $v_1, \ldots, v_4$ faţă de verticală (fig.63.b).

7.2. Orientarea instrumentelor de deviere în forajul dirijat

Pentru devierea sondelor faţă de verticală se utilizează următoarele instrumente de deviere:

- pana de deviere, introdusă în sondă în poziţia din care se începe devierea de la verticală şi care ghidează sapa şi garnitura de prăjini de foraj, pe noua direcţie (în cazul forajului cu masă rotativă, figura 64.a);

- reducţia strîmbă, introdusă deasupra sapei şi a garniturii de prăjini grele, în cazul forajului cu turbină (fig.64.b).

Determinarea orientării instrumentelor de deviere se realizează cu ajutorul unui fotoînclinometru, cu o singură imagine fotografică, prevăzută cu un modul de plumb în partea inferioară, pe care se imprimă urmele unor cuţite dinţate fixate în partea superioară a gar-

niturii de prăjini grele (în cazul forajului cu masă rotativă) sau deasupra reducției strîmbe (în cazul forajului cu turbină).

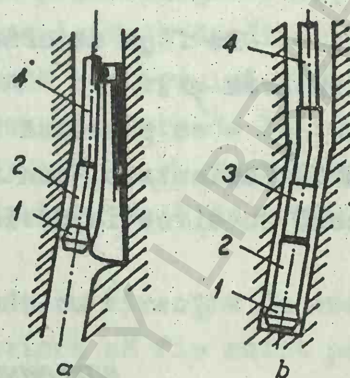


Fig. 64. Scule de deviere: a-pană de deviere; b-dispozitiv de deviere cu reducție strîmbă deasupra turbinei; 1-sapă; 2-prăjini grele; 3-turbină; 4-garnitura de prăjini de foraj.

Pe imaginea fotografică obținută (fig.65.a) se măsoară unghiul α dintre reperul triunghiurilor R care reprezintă poziția aparatului și dreapta OA care trece prin centrul firelor reticular.

Pe modelul cu plumb (fig.65 b) se măsoară unghiul β între un reper R', care corespunde reperului R de pe imaginea fotografică, și direcția OB indicată de vîrfurile triunghiurilor imprimate de cuțitele ascuțite pe modelul de plumb.

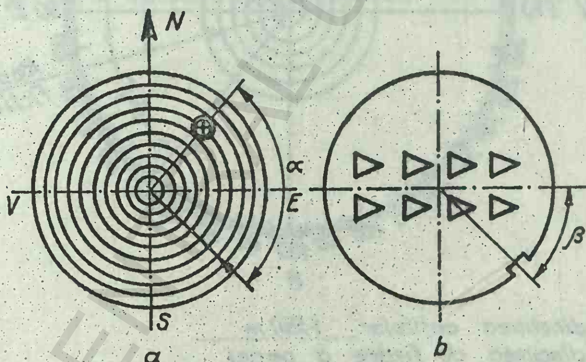


Fig.65. Măsurarea orientării dispozitivului de deviere: a-pe imaginea fotografică; b-pe modelul de plumb.

Valorile unghiurilor α și β se trasează pe o fișă specială, denumită fișă de orientare.

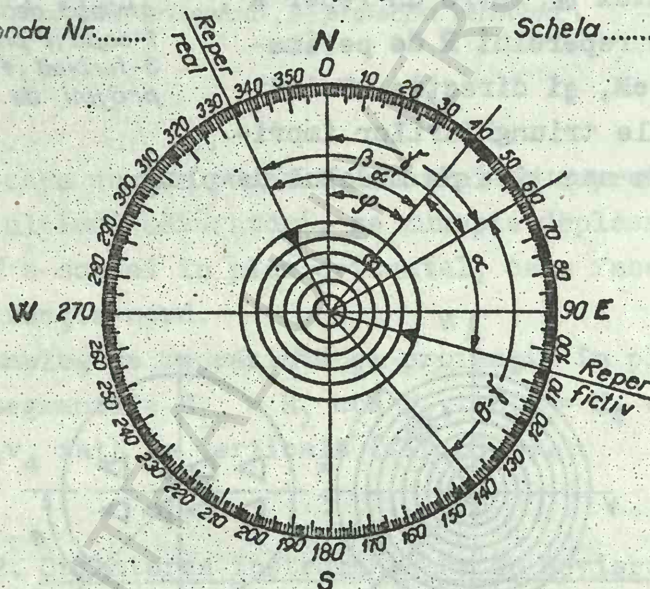
Pentru interpretarea rezultatelor măsurătorilor de orientare a instrumentelor de deviere în forajul dirijat, în afara unghiurilor α și β, trebuie cunoscută înclinarea, v, și orientarea, Ø, sondei la nivelul de amplasare a cuțitelor.

Modul de lucru

Pe fişa de orientare (fig.66) direcţia înclinării sondei (orientarea φ):

- se plasează imaginea fotografică obţinută concentric cu fişa de orientare, centrul firelor reticulare din imagine să se suprapună cu direcţia deviaţiei sondei.

INTREPRINDEREA.......................... Data..........



Adîncimea cuţitelor 1560 m........
Adîncimea de fixare a penei.................
Orientarea găurii de sondă 40° (φ) unghi de înclinare
Direcţia găsită a penei de deviere 60° (γ)....
Direcţia de orientare a penei (prăjini strîmbe) 140° (θ)
Unghiul citit pe plumb 85° (β).......
Unghiul de rotire a garniturii 80° (θ-γ).......

Verificat, *Şef de echipă,*

Fig.66. Exemplu de determinare a orientării instrumentului de deviere în forajul dirijat.

Tinînd seama de inversarea imaginii prin fotografiere, se trasează aceeaşi valoare a unghiului α simetric faţă de direcţia înclinării sondei. Se obţine astfel poziţia reală a reperului fix.

- Unghiul β se trasează pe fişa de orientare de la reperul real, în sensul rotirii acelor de ceasornic. Unghiul γ reprezintă direcţia găsită a planului instrumentului de deviere faţă de nordul magnetic.

Dacă direcţia măsurată nu corespunde cu direcţia de orientare necesară, trebuie ca instrumentul de deviere să fie rotit pe direcţia dorită.

Unghiul de rotire va fi egal cu

$$\Theta_r = \Theta - \gamma$$

unde: Θ este unghiul dintre direcţia pe care trebuie dirijată sonda faţă de nordul magnetic.

După operaţia de rotire a instrumentului de deviere cu unghiul Θ_r, aducerea instrumentului de deviere pe direcţia dorită, se repetă operaţia pentru controlul acestei direcţii.

REPREZENTAREA IN DIAGRAFIILE DE POROZITATE ŞI GAMA NATURALA A DIFERITELOR FORMAŢIUNI GEOLOGICE

Tabelul 8.1.

Litologia formaţiunii geologice	Caracterul formaţiunilor	Reprezentarea în diagrafie				Raportul dintre porozităţile (aparente) determinate cu diferite metode	Factorii geologici care pot produce variaţia parametrilor determinaţi sau a valorilor de porozitate aparentă
		Diagrafie radioactivă					
		Diagrafia gama naturală CG I_γ (uAPI)	Diagrafia neutronică, CN şi diagrafia porozităţii aparente pentru calcare, din carotajul neutronic compensat, CNL $N_{T}(eT)$ (uAPI) sau $(m_N)_{A,Ca}$	Diagrafia de densitate gama-gama (compensată), CD σ (g/cm3)	Diagrafia acustică de viteză (compensată) Δt (μs/pic)		
1	2	3	4	5	6	7	8
Argile	Impermeabile	Valori I_γ în general mari, în jurul valorilor: I_γ = 9o...11o uAPI. Valori I_γ foarte mari, pînă la valori I_γ = 1oo...2oo uAPI pt. argilele marine fin dispersare şi cele conţinînd bentonite şi cenuşi vulcanice.	Valori $N_{T(eT)}$ minime, datorită prezenţei apei de legătură şi apei de cristalizare a argilelor în domeniul: $N_{T(eT)}$=5oo...8oo uAPI. Valori $(m_N)_{A,Ca}$ relativ mari în domeniul: $(m_N)_{A,Ca}$ = 35...5o %	Valori σ mici spre medii, depinzînd de gradul de compactare, în domeniul: σ = ?,3...2,5 g/cm^3	Valori Δt mari, depinzînd de gradul de compactare, în domeniul: Δt = 11o...14oμs/pic.	$(m_N)_{A,Ca} > (m_D)_A$	Pentru argilele fin dispersate, sedimentate în mediu marin, valorile I_γ sînt mult mai mari decît pentru argilele comune sedimentate în ape continentale. Valorile $N_{T(eT)}$ şi respectiv $(m_N)_{A,Ca}$ sînt influenţate de cantitatea de apă de legătură. Valorile σ cresc, iar valorile Δt scad cu cît gradul de compactizare al argilelor creşte.
Argile calcaroase, dolomitice şi nisipoase	Impermeabile	Valori I_γ în general mari, dar ceva mai mici decît în cazul argilelor comune, în domeniul I_γ = 7o...9o uAPI	Valori $N_{T(eT)}$ mici, ceva mai mari decît în cazul argilelor comune, în domeniul $N_{T(eT)}$=6oo...9oouAPI. Valori $(m_N)_{A,Ca}$ relativ mari în domeniul $(m_N)_{A,Ca}$ =3o...45 %	Valori σ în general mici spre medii, dar ceva mai mari decît în cazul argilelor comune, în domeniul: σ =2,4...2,6 g/cm^2	Valori Δt în general mari, dar mai mici decît în cazul argilelor comune, în domeniul: Δt=1oo...13oμs/pic.	$(m_N)_{A,Ca} > (m_D)_A$	Creşterea conţinutului de calcar, dolomit sau cuarţ în argilă duce la scăderea valorilor I_γ, $(m_N)_{A,Ca}$ şi Δt, respectiv la creşterea valorilor $N_{T(eT)}$
Marne	Impermeabile	Valori I_γ în general mari, în domeniul: I_γ = 7o...1oouAPI, analoage cu ale argilelor calcaroase.	Valori $N_{T(eT)}$ mici, analoage cu ale argilelor sau argilelor calcaroase. $N_{T(eT)}$=5oo...9oouAPI. Valori $(m_N)_{A,Ca}$ = = 35 - 5o %	Valori σ în general mici spre medii, analoage cu cele ale argilelor sau argilelor calcaroase, în domeniul σ =2,3...2,6 g/cm3	Valori Δt în general mari, analoage cu cele ale argilelor sau argilelor calcaroase, în domeniul: Δt = 1oo...14oμs/pic.	$(m_N)_{A,Ca} > (m_D)_A$	Aceeaşi ca în cazul argilelor şi argilelor calcaroase

1	2	3	4	5	6	7	8
Nisipuri şi gresii	Poroase-permeabile m = 10...30%	Valori I_γ reduse, în domeniul: I_γ = 30...40 uAPI	Valori $N_{T(eT)}$ medii spre mari, în funcţie de porozitate, în domeniul: $N_{T(eT)}$=900...1200 uAPI Valori $(m_N)_{A,Ca}$ = 6...26 %	Valori σ mici spre medii în funcţie de porozitate, în domeniul: σ = 2,2...2,5 g/cm^3	Valori Δt medii, în funcţie de porozitate, în domeniul: Δt=65...100 μs/pic.	Gresii, nisipuri cu: -apă şi/sau petrol: $(m_N)_{A,Ca} \lessgtr (m_D)_A$ -gaze: $(m_N)_{A,Ca} < (m_D)_A$	Cu creşterea porozităţii deci a conţinutului în H (din apă sau hidrocarburi): $-N_{T(eT)}$-scade; $-\sigma$- scade $-(m_N)_{A,Ca}$-creşte; $-\Delta t$-creşte La formaţiunile cu conţinut în gaze: $-N_{T(eT)}$-creşte; $-\sigma$- scade $-(m_N)_{A,Ca}$-scade; $-\Delta t$-creşte La compactări reduse, Δt creşte foarte mult, prezentînd variaţii mari.
Nisipuri şi gresii argiloase	Poroase-permeabile m_{ef}=5...25 % V_{arg}= 5...40 %	Valori I_γ intermediare, în domeniul: I_γ = 35...60 uAPI	Valori $N_{T(eT)}$ intermediare între valorile pt. marne şi nisipuri/gresii: $N_{T(eT)}$=600...1500 uAPI Valori $(m_N)_{A,Ca}$ = 7,5...45% (în funcţie de porozitate şi volumul de argilă)	Valori σ intermediare, în domeniul σ=2,2...2,5 g/cm^3 (în funcţie de porozitate şi volumul de argilă)	Valori Δt intermediare, în domeniul: Δt=65...120 μs/pic. (în funcţie de porozitate şi volumul de argilă)	Gresii, nisipuri argiloase cu: -apă şi/sau petrol: $(m_N)_{A,Ca} \gtrless (m_D)_A$ - cu gaze: $(m_N)_{A,Ca} < (m_D)_A$	Pe lîngă factorii de influenţă de mai sus, la creşterea volumului de argilă: $-N_{T(eT)}$-scade; $-\sigma$- scade $-(m_N)_{A,Ca}$ -creşte; Δt-creşte La compactări reduse Δt creşte foarte mult, prezentînd variaţii mari.
Gresii	Compacte şi/sau de porozitate scăzută m < 10 %	Valori I reduse, în domeniul: I_γ = 30...40 uAPI	Valori $N_{T(eT)}$ mari, în funcţie de porozitate. $N_{T(eT)}$=1500...3000 uAPI Valori $(m_N)_{A,Ca}$= -5...7,5 %	Valori σ mai mari, în domeniul: σ= 2,5...2,65 g/cm^3	Valori Δt mai mici, în funcţie de porozitate, în domeniul: Δt=53...65 μs/pic.	Gresii cu porozitate scăzută, cu apă şi/sau petrol: $(m_N)_{A,Ca} \lessgtr (m_D)_A$ -cu gaze: $(m_N)_{A,Ca} < (m_D)_A$ Gresii compacte $(m_N)_{A,Ca}$= -3,5...-5 % $(m_D)_A$ = 0	Aceiaşi factori de influenţă ca la nisipuri şi gresii poroase-permeabile.
Calcare	Poroase-permeabile şi/sau fisurate şi compacte m = 0...20% m_s= 0...2 %	Valori I_γ reduse, în domeniul: I_γ = 20...30 uAPI	Valori $N_{T(eT)}$ mari, spre foarte mari, în funcţie de porozitate în domeniul: $N_{T(eT)}$=1000...3500 uAPI Valori $(m_N)_{A,Ca}$ = 0...20 %	Valori σ mai mari, în funcţie de porozitate, în domeniul: σ= 2,33...2,71 g/cm^3	Valori Δt medii spre mici, în funcţie de porozitate în intervalul: Δt=47,6...76 μs/pic	Calcare poroase-permeabile şi/sau fisurate: -cu apă şi/sau petrol: $(m_N)_{A,Ca} \cong (m_D)_A$ $(m_N)_{A,Ca} \geqslant (m_A)_A$ - cu gaze: $(m_N)_{A,Ca} < (m_D)_A$ Calcare compacte $(m_N)_{A,Ca} \cong (m_D)_A$ $(m_A)_A$ = 0	La scăderea porozităţii: $-N_{T(eT)}$-creşte; $-\sigma$-creşte $-(m_N)_{A,Ca}$-scade; $-\Delta t$-scade Pentru CN şi CD valorile depind de porozitatea totală: $m = m_p + m_s$ Pentru CA valorile depind numai de porozitatea primară, m_p

1	2	3	4	5	6	7	8
Dolomite	Poroase-permeabile şi/sau fisurate şi compacte $m = 0...20$ % $m_{s} = 0...2$ %	Valori I_{γ} reduse în domeniul: $I_{\gamma} = 20...30$ uAPI	Valori $N_{T(eT)}$ mari, spre foarte mari, în funcţie de porozitate, în domeniul: $N_{T(eT)} = 960...3200$ uAPI Valori $(m_N)_{A,Ca} = 2...22$ %	Valori δ mari, spre foarte mari, în funcţie de porozitate. $\delta = 2,48...2,86$ g/cm^3	Valori Δt medii spre mici, în funcţie de porozitate, în intervalul: $\Delta t = 4,35...72,6$ μs/pic.	Dolomite poroase-permeabile şi/sau fisurate: - cu apă şi/sau petrol: $(m_N)_{A,Ca} \geq (m_D)_A$ $(m_N)_{A,Ca} \geq (m_A)_A$ - cu gaze: $(m_N)_{A,Ca} < (m_D)_A$ Dolomite compacte $(m_N)_{A,Ca} = 2...4$%	Aceeaşi factori de influenţă ca la calcare.
Calcare argiloase	Poroase-permeabile $m_{ef} = 2...15$%. $V_{arg} = 5...40$%	Valori I_{γ} intermediare, în funcţie de volumul de argilă: $I_{\gamma} = 25...50$ uAPI	Valori $N_{T(eT)}$ intermediare între valorile pt. calcare şi cele pt. marne: $N_{T(eT)} = 800...2800$ uAPI $(m_N)_{A,Ca} = 5,5...35$%	Valori δ medii, între valorile pt. calcare şi marne, argile: $\delta = 2,35...2,65$ g/cm^3 (în funcţie de porozitate şi volumul de argilă)	Valori Δt medii, între valorile pt. calcare şi marne, argile: $\Delta t = 53...105$ μs/pic. (în funcţie de porozitate şi volumul de argilă).	Calcare argiloase cu: -apă şi/sau petrol $(m_N)_{A,Ca} \leq (m_D)_A$ - cu gaze $(m_N)_{A,Ca} < (m_D)_A$	Pe lîngă factorii de influenţă de la calcare, la creşterea volumului de argilă: $-N_{T(eT)}$-scade; $-\delta$-scade $-(m_N)_{A,Ca}$-creşte; Δt-creşte
Anhidrite	Impermeabile	Valori I_{γ} foarte mici: $I_{\gamma} = 10...20$ uAPI	Valori $N_{T(eT)}$ foarte mari: $N_{T(eT)} = 3000...3500$ uAPI Valori $(m_N)_{A,Ca} = 0,5...2$ %	Valori δ mari: $\delta = 2,9...2,98$ g/cm^3	Valori Δt mici: $\Delta t = 50...51$ μs/pic		
Gipsuri	Impermeabile	Valori I_{γ} foarte mici: $I_{\gamma} = 10...20$ uAPI	Valori $N_{T(eT)}$ mici: $N_{T(eT)} = 600...800$ uAPI $(m_N)_{A,Ca} = 48-49$ %	Valori δ mici: $\delta = 2,35-2,37$ g/cm^3	Valori Δt medii: $\Delta t = 51...53$ μs/pic		
Sare	Compactă	Valori I_{γ} foarte mici: $I_{\gamma} = 15-25$ uAPI	Valori $N_{T(eT)}$ foarte mari: $N_{T(eT)} = 3000...3500$ uAPI Valori $(m_N)_{A,Ca} = -1...4$%	Valori δ mici: $\delta = 2,0...2,03$ g/cm3	Valori Δt medii: $\Delta t = 66...67$ μs/pic		In prezenţa impurităţilor argiloase, marnoase (mai ales în brecia sării): $N_{T(eT)}$-scade: $-\delta$-creşte $(m_N)_{A,Ca}$-creşte; Δt-creşte
Roci eruptive şi metamorfice (fundament cristalin)	Compacte	Valori I_{γ} mari şi foarte mari: $I_{\gamma} = 50...200$ uAPI	Valori $N_{T(eT)}$ foarte mari: $N_{T(eT)} = 3000...4000$ uAPI Valori: $(m_N)_{A,Ca} = -2...2$ %	Valori δ mari: $\delta = 2,8...3,0$ g/cm3	Valori Δt mici spre medii $\Delta t = 56...57$ μs/pic		
Roci eruptive şi metamorfice (fundament cristalin (alterat))	Poroase-permeabile în zonele de fisurare şi alterare	Valori I_{γ} mari şi foarte mari: $I_{\gamma} = 50...150$ uAPI	Valori $N_{T(eT)}$ intermediare: $N_{T(eT)} = 1000-3000$ uAPI Valori $(m_N)_{A,Ca} = 2...10$ %	Valori δ mari spre medii: $\delta = 2,5...2,8$ g/cm^3	Valori Δt mici spre medii: $\Delta t = 57..65$ μs/pic		Parametrii depind de gradul de fisurare sau alterare a rocilor şi de conţinutul în fluide.

<u>Notaţii</u>: I_{γ} - intensitatea radiaţiei gama pe CG, uAPI
$(m_N)_{A,Ca}$ - porozitatea aparentă pentru calcare din CNL, %
$(m_D)_A$ - porozitatea aparentă din CD, %
$(m_A)_A$ - porozitatea aparentă din CA, %
$N_{T(eT)}$ - densitatea neutronilor termici (epitermici) din CN, uAPI
δ - densitatea globală a formaţiei din CD, g/cm^3
Δt - timpul de parcurs unitar (timpul de interval) din CA, μs/pic

REPREZENTAREA IN DIAGRAFIA DE REZISTIVITATE (APARENTA) SI POTENTIAL SPONTAN A DIFERITELOR FORMATIUNI GEOLOGICE

(după A.Neguţ şi Gh.Stănescu, 1972 - cu completări)

Tabelul 8.2.

Litologia formaţiunii geologice	Caracterul formaţiunilor	Reprezentarea în diagrafie					Factori geologici care pot produce variaţia valorilor de rezistivitate şi potenţial spontan
		Potenţialul spontan-E_{PS}	Rezistivitatea aparentă, A				
			Dispozitive cu investigare medie şi adîncă*) $(\rho_A)_{m,a}$	Dispozitive cu investigare superficială**), $(\rho_A)_s$	Microdispozitive***) $(\rho_A)_{micr.}$	Raportul dintre rezistivităţi	
1	2	3	4	5	6	7	8
Argile	Impermeabile	Valori "nule" sau "anomalii" electropozitive pentru: $-c_{ai} > c_{fn}$ $(\rho_{ai} < \rho_{fn})$ şi $p_h > p_l$; "Anomalii" electronegative, pentru: $-c_{ai} < c_{fn}$ $(\rho_{ai} > \rho_{fn})$ şi $p_h < p_l$	Valori reduse ρ_A, cuprinse în domeniul: $\rho_A = 1...10\,\Omega m$ Pentru depozite continentale, valorile de rezistivitate pot fi cuprinse în domeniul: $\rho_A = 20...30\,\Omega m$			Valori egale $(\rho_A)_{m,a} \cong (\rho_A)_s \cong$ $\cong (\rho_A)_{micr.}$	Parametrul ρ_A poate creşte datorită următoarelor fenomene: - creşterea compactizării argilelor cu adîncimea; - micşorarea gradului de sortare în sedimentarea în depozite continentale; - mărirea conţinutului de ciment silicios; - micşorarea concentraţiei în săruri a apelor din bazinul de sedimentare.
Şisturi argiloase	Impermeabile	Idem	Valori în general reduse ρ_A, mai mari decît ale argilelor cuprinse în domeniul: $\rho_A = 5 ... 30\,\Omega m$			Valori egale $(\rho_A)_{m,a} \cong (\rho_A)_s \cong$ $\cong (\rho_A)_{micr.}$	Parametrul ρ_A creşte în cazul şisturilor dizlocate.
Marne	Impermeabile	Idem	Valori în general reduse ρ_A, în domeniul: $\rho_A = 1,5 ... 10\,\Omega m$ In cazuri deosebite, valori variabile în limite mari: $\rho_A = 5...100\,\Omega m$			Valori egale $(\rho_A)_{m,a} \cong (\rho_A)_s \cong$ $\cong (\rho_A)_{micr.}$	Parametrul ρ_A creşte cu conţinutul de aleurite şi mai ales cu conţinutul de CO_3Ca.
Nisipuri	Porosse-permeabile	"Anomalii" electronegative pentru: $-c_{ai} > c_{fn}$ $(\rho_{ai} < \rho_{fn})$ şi $p_h > p_l$ $E_{PS} = -50 ... -200$ mV "Anomalii" electropozitive pentru: $-c_{ai} < c_{fn}$ $(\rho_{ai} > \rho_{fn})$ şi $p_h < p_l$.	Valori mici şi chiar foarte mici, cuprinse în domeniul $(\rho_A)_{m,a} = 0,5...10\,\Omega m$ pt.formaţiuni saturate cu apă de zăcămînt mineralizată. Valori mari şi chiar foarte mari cuprinse în domeniul $(\rho_A)_{m,a} = 20...500\,\Omega m$ pt.formaţiuni petrolifere şi gazeifere.	Valori medii în domeniul $(\rho_A)_s =$ $= 5...20\,\Omega m$ (pt.noroaie dulci $c_{fn} \leq 50$ g/l) Valori mici în domeniul $(\rho_A)_s =$ $= 1...10\,\Omega m$ (pt.noroaie mineralizate, $c_{fn} > 50$ g/l)	Valori mici spre medii $(\rho_A)_{micr} =$ $= 1...20\,\Omega m$ (în funcţie de concentraţia filtratului de noroi)	Formaţiuni cu apă mineralizată: $(\rho_A)_{m,a} < (\rho_A)_s$ Formaţiuni cu hidrocarburi: $(\rho_A)_{m,a} > (\rho_A)_s$ Pe microcarotaj: $(\rho_A)_{micr.AM} >$ $(\rho_A)_{micr.AO}$ (separaţie pozitivă)	Parametrul ρ_A creşte în următoarele cazuri: -creşterea conţinutului în hidrocarburi şi scăderea conţinutului în apă de zăcămînt (mineralizată); -scăderea concentraţiei în săruri a apei de zăcămînt. "Anomalia" E_{PS} este mai mare în cazul rocilor saturate cu apă, decît în cazul celor saturate cu hidrocarburi.

1	2	3	4	5	6	7	8
Nisipuri argiloase	Poroase-permeabile	"Anomalii" electronegative pentru: $-c_{ai} > c_{fn}$ ($\rho_{ai} < \rho_{fn}$) şi $p_h > p_l$ Valori mai mici ca în cazul nisipurilor "curate": E_{PS} = -30 ... -100 mV "Anomalii" electropozitive pentru: $-c_{ai} < c_{fn}$ ($\rho_{ai} > \rho_{fn}$) şi $p_h < p_l$.	Valori mici şi chiar foarte mici, cuprinse în domeniul $(\rho_A)_{m,a}$= =0,5...5 Ω m, pentru formaţiuni saturate cu apă de zăcămînt mineralizată. Valori medii spre mari, cuprinse în domeniul $(\rho_A)_{m,a}$= 5...50 Ω m, pentru formaţiuni petrolifere şi gazeifere.	Valori medii spre mici, în domeniul: $(\rho_A)_s$= 2...10 Ω m (pt.noroaie dulci, $c_{fn} \leq 50$ g/l). Valori mici, în domeniul $(\rho_A)_s$= 1...5 Ω m, (pt.noroaie mineralizate, $c_{fn} > 50$ g/l).	Valori mici spre medii $(\rho_A)_{micr}$= = 1...10 Ω m (în funcţie de concentraţia filtratului de noroi).	Formaţiuni cu apă mineralizată: $(\rho_A)_{m,a} < (\rho_A)_s$ Formaţiuni cu hidrocarburi: $(\rho_A)_{m,a} > (\rho_A)_s$ Pe microcarotaj: $(\rho_A)_{micr.AM} >$ $(\rho_A)_{micr.AO}$ ("separaţie pozitivă")	Parametrul ρ_A scade în cazul creşterii conţinutului de argilă în formaţiune. Mărimea depinde de rezistivitatea proprie a materialului argilos. Mărimea "anomaliei" E_{PS} scade, cu cît creşte volumul de material argilos.
Gresii	Poroase-permeabile	Aceleaşi "anomalii" ca în cazul nisipurilor.	Valori mici, cuprinse în domeniul: $(\rho_A)_{m,a}$=1...20 Ω m pt.formaţiuni saturate cu apă de zăcămînt mineralizată. Valori mari şi foarte mari $(\rho_A)_{m,a}$=25...1000 Ω m pt.formaţiuni petrolifere şi gazeifere.	Valori medii spre mari în domeniul: $(\rho_A)_s$ =10...50 Ω m (pt.noroaie dulci $c_{fn} \leq 50$ g/l). Valori mici spre medii în domeniul $(\rho_A)_s$= 5...20 Ω m (pt.noroaie mineralizate, $c_{fn} > 50$ g/l)	Valori medii $(\rho_A)_{micr.}$ = 5...20 Ω m (în funcţie de concentraţia filtratului de noroi).	Aceleaşi rapoarte ca la nisipuri.	Aceeaşi factori ca în cazul nisipurilor.
Gresii	Compacte	Valori "nule".	Valori mari sau foarte mari, cuprinse în domeniul: ρ_A = 100 ... 2000 Ω m.			Valori egale $(\rho_A)_{m,a} \cong (\rho_A)_s$ Pe microcarotaj: $(\rho_A)_{micr.AM} \cong$ $(\rho_A)_{micr.AO}$	Valoarea parametrului ρ_A depinde în primul rînd de rezistivitatea noroiului şi de diametrul găurii de sondă.
Conglomerate şi pietrişuri	Poroase-permeabile	"Anomalii" electronegative (pt. c_{ai} c_{fn} sau $\rho_{ai} < \rho_{fn}$) şi respectiv electropozitive (pentru $c_{ai} < c_{fn}$ sau $\rho_{ai} > \rho_{fn}$) E_{PS} = 20...50 mV Valori "nule" pentru: $c_{ai} \cong c_{fn}$	Valori mici, cuprinse în domeniul: $(\rho_A)_{m,a}$ = 1...10 Ω m pt.formaţiuni saturate cu apă de zăcămînt mineralizată. Valori mari şi chiar foarte mari, cuprinse în domeniul: $(\rho_A)_{m,a}$= 20...500 Ω m pt.formaţiuni petrolifere şi gazeifere, şi formaţiuni cu apă dulce	Valori medii spre mari în domeniul: $(\rho_A)_s$ = 10...50 Ω m (pt.noroaie dulci, $c_{fn} \leq 50$ g/l). Valori mici spre medii, în domeniul: $(\rho_A)_s$ = 5...20 Ω m (pt.noroaie mineralizate $c_{fn} > 50$ g/l).	Valori medii $(\rho_A)_{micr.}$ = = 5...20 Ω m (în funcţie de concentraţia filtratului de noroi).	Aceleaşi rapoarte ca la nisipuri şi gresii	Parametrul ρ_A creşte cu creşterea dimensiunilor medii ale elementelor componente şi scade cu creşterea conţinutului în argilă. Parametrul ρ_A creşte cu conţinutul în hidrocarburi, precum şi în cazul concentraţiilor mici în săruri a apelor de zăcămînt (ape dulci). Parametrul E_{PS} este influenţat de potenţialul de electrofiltraţie, pt. p_h p_l.

1	2	3	4	5	6	7	8
Roci carbonatate (calcare, dolomite)	Porosse-permeabile	"Anomalii" electronegative pentru: $-c_{ai} > c_{fn}$ $(\rho_{ai} < \rho_{fn})$ şi $p_h > p_l$ E_{PS} = -30...200 mV "Anomalii" electropozitive pentru: $-c_{ai} < c_{fn}$ $(\rho_{ai} > \rho_{fn})$ şi $p_h < p_l$.	Valori medii spre mari, cuprinse în domeniul $(\rho_A)_{m,a}$ = 20...200 Ω m pt. formaţiuni saturate cu apă de zăcămînt mineralizată. Valori mari şi foarte mari, cuprinse în domeniul: $(\rho_A)_{m,a}$ = 200...10000 Ω m pt. formaţiuni petrolifere şi gazeifere.	Valori medii spre mari, în domeniul: $(\rho_A)_s$ = 200...1000 Ω m (pt. noroaie dulci, $c_{fn} \leq 50$ g/l). Valori medii, în domeniul: $(\rho_A)_s$ = 20...100 Ω m (pt. noroaie mineralizate, $c_{fn} > 50$ g/l)	Valori medii spre mari în domeniul: $(\rho_A)_{micr.}$ = 20...1000 Ω m (în funcţie de concentraţia filtratului de noroi).	Formaţiuni cu apă mineralizată: $(\rho_A)_{m,a} < (\rho_A)_s < (\rho_A)_{MLL}$ Formaţiuni cu hidrocarburi: $(\rho_A)_{m,a} > (\rho_A)_s > (\rho_A)_{MLL}$	Parametrul ρ_A creşte în următoarele cazuri: -la calcare cristaline şi silicifiate -scăderea porozităţii primare şi/sau secundare (fisurale) -creşterea conţinutului în hidrocarburi. Parametrul ρ_A scade în cazul calcarelor friabile, cavernoase şi dolomitizate şi la creşterea conţinutului în apă de zăcămînt mineralizată. Valoarea "anomaliei" E_{PS} scade cu creşterea conţinutului în material argilos.
Roci carbonatate (calcare, dolomite)	Compacte	Variaţie "lineară" a anomaliilor E_{PS}	Valori foarte mari cuprinse în domeniul: ρ_A = 200...20000 Ω m			Valori egale $(\rho_A)_{m,a} \cong (\rho_A)_s \cong (\rho_A)_{MLL}$	Valoarea parametrului ρ_A depinde în primul rînd de rezistivitatea noroiului şi de diametrul găurii de sondă
Depozite hidrochimice (sare, anhidrit, silvină, gips).	Impermeabile	"Anomalii" electronegative sau electropozitive, reduse sau valori nule.	Valori foarte mari cuprinse în domeniul: ρ_A = 1000...10000 Ω m			Valori egale $(\rho_A)_{m,a} \cong (\rho_A)_s \cong (\rho_A)_{MLL}$	Parametrul ρ_A scade în cazul creşterii conţinutului în impurităţi-constituite din material argilos.
Roci eruptive şi metamofice (fundament cristalin)	Compacte	Variaţie "lineară" a anomaliilor E_{PS}	Valori foarte mari cuprinse în domeniul: ρ_A = 1000...100.000 Ω m			Valori egale $(\rho_A)_{m,a} \cong (\rho_A)_s \cong (\rho_A)_{MLL}$	
Roci eruptive şi metamorfice (fundament cristalin alterat)	Porosse-permeabile, în zonele de fisurare şi alterare	"Anomalii" electronegative pentru: $-c_{ai} > c_{fn}$ $(\rho_{ai} < \rho_{fn})$ şi $p_h > p_l$ E_{PS} = -50...150 mV $-c_{ai} > c_{fn}$ $(\rho_{ai} > \rho_{fn})$ şi $p_h < p_l$	Valori medii spre mari, cuprinse în domeniul $(\rho_A)_{m,a}$ = 20...200 Ω m pt. formaţiuni saturate cu apă de zăcămînt mineralizată. Valori mari şi foarte mari cuprinse în domeniul $(\rho_A)_{m,a}$ = 200...10000 Ω m în formaţiuni petrolifere şi gazeifere.	Valori medii spre mari, în domeniul: $(\rho_A)_s$ = 200...1000 Ω m (pt. noroaie dulci $c_{fn} \leq 50$ g/l). Valori medii, în domeniul $(\rho_A)_s$ = 20...100 Ω m (pt. noroaie mineralizate, $c_{fn} > 50$ g/l)	Valori medii spre mari în domeniul: $(\rho_A)_{micr.}$ = 20...10000 Ω m (în funcţie de concentraţia filtratului de noroi).	Formaţiuni cu apă mineralizată: $(\rho_A)_{m,a} < (\rho_A)_s < (\rho_A)_{MLL}$ Formaţiuni cu hidrocarburi $(\rho_A)_{m,a} > (\rho_A)_s > (\rho_A)_{MLL}$	Parametrul ρ_A scade mult în cazul zonelor de fisurare şi alterare.

*) Dispozitive gradiente: ρ_{AO} (AO ≥ 2 m); laterolog: ρ_{LL7}, ρ_{LL3}, ρ_{LLe}; inducţie: ρ_I, ρ_{Ia}, ρ_{Im}

**) Dispozitive potenţiale: ρ_{AM} (AM = 0,3 - 0,4 m); laterolog : ρ_{LLs}, ρ_{LL8}, ρ_{LLef}

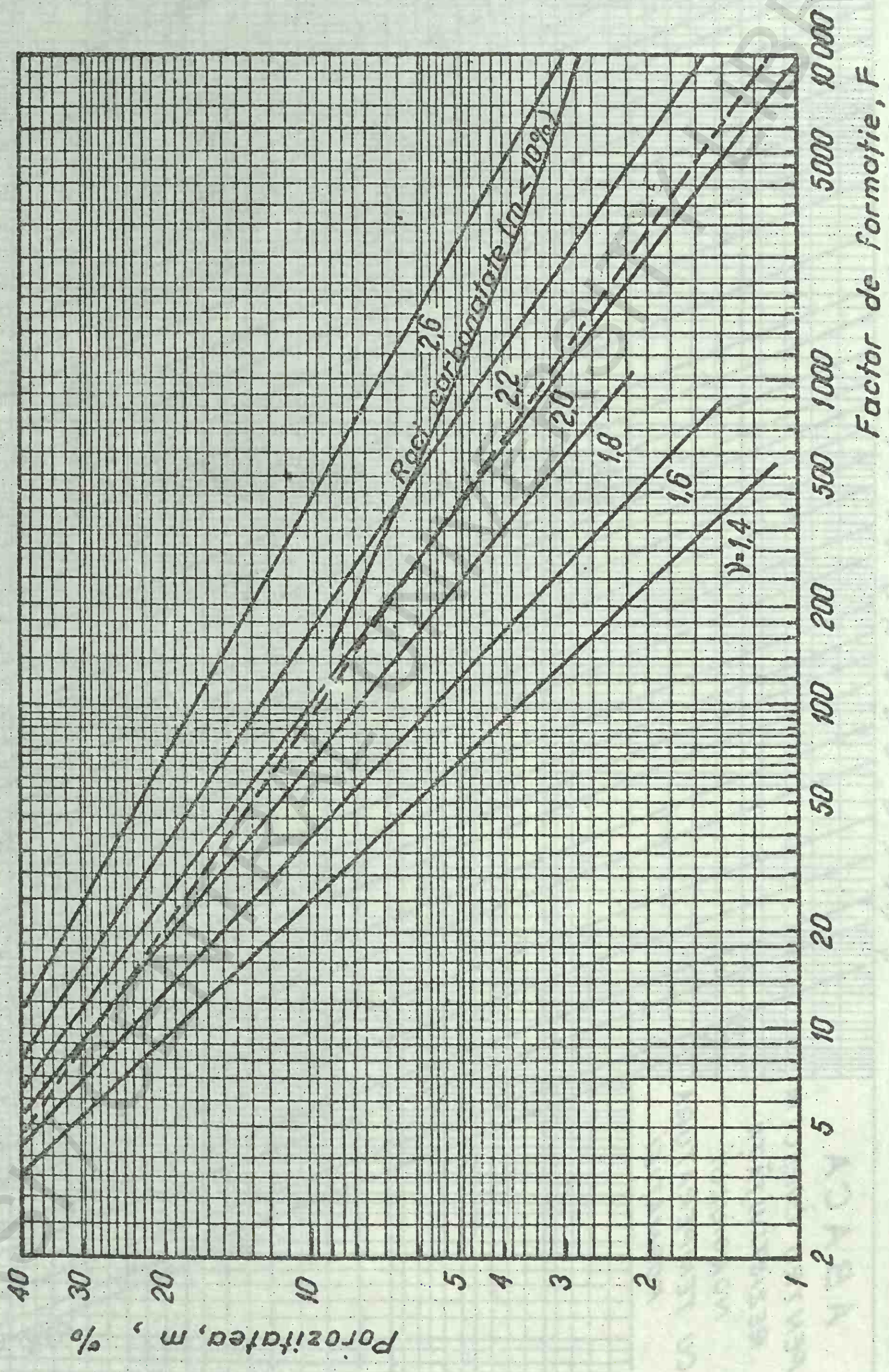
***) Microdispozitive standard: ρ_{AM} (AM = 2 in = 50,8 mm); ρ_{AO} (AO = 1,5 in = 38,1 mm); focalizate: ρ_{MLL}, ρ_{MLLaf}, ρ_{PL}

ANEXE GRAFICE

ABACA 1

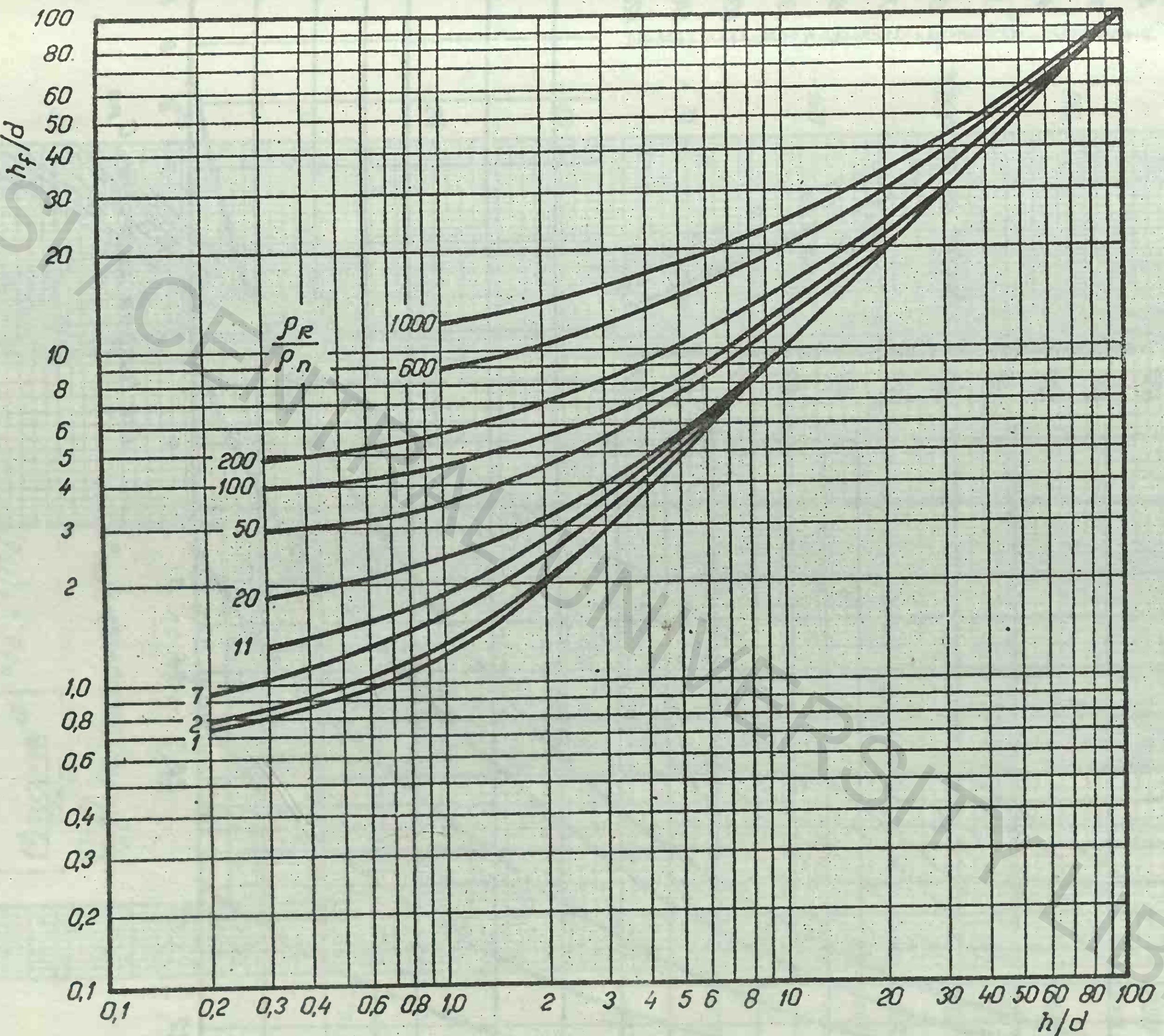
ABACA
PENTRU CORECȚIA REZISTIVITĂȚII NOROIULUI CU TEMPERATURA FORMAȚIEI
TEMPERATURA FORMAȚIEI
°C
10 20 30 40 50 60 80 100 150 200
salinitatea noroiului
Kg sare/vagon
2000 1500 1300 1000 800 600 500 400 300 250 200 170 140 120 100 90 80 70 60 50 40 30 25 20 17 14 12 10 9 8
2 3 4 5 6 7
2500
2800
3000
0,008 0,01 0,02 0,03 0,04 0,05 0,07 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,8 1 1,5 2 3 4 5 6 7 8 9 10
0,01 0,1 1 10
rezistivitatea noroiului, Ωm
rezistivitatea filtratului de noroi
rezistivitatea apei de zăcămînt

ABACA 2



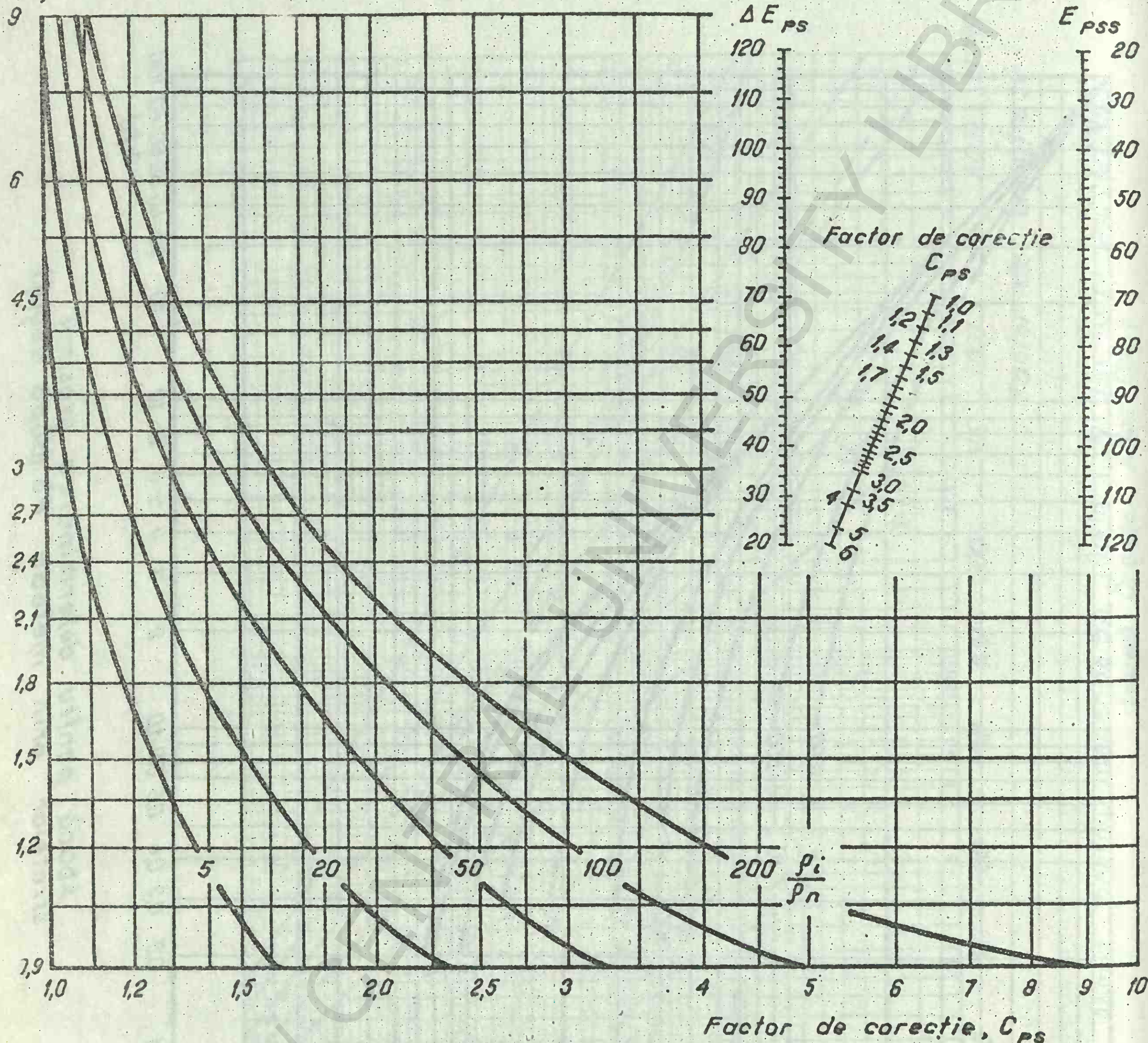
Abacă pentru dependenţa factor de formaţie - porozitate (după Dresser Atlas Doc.)

ABACA 3



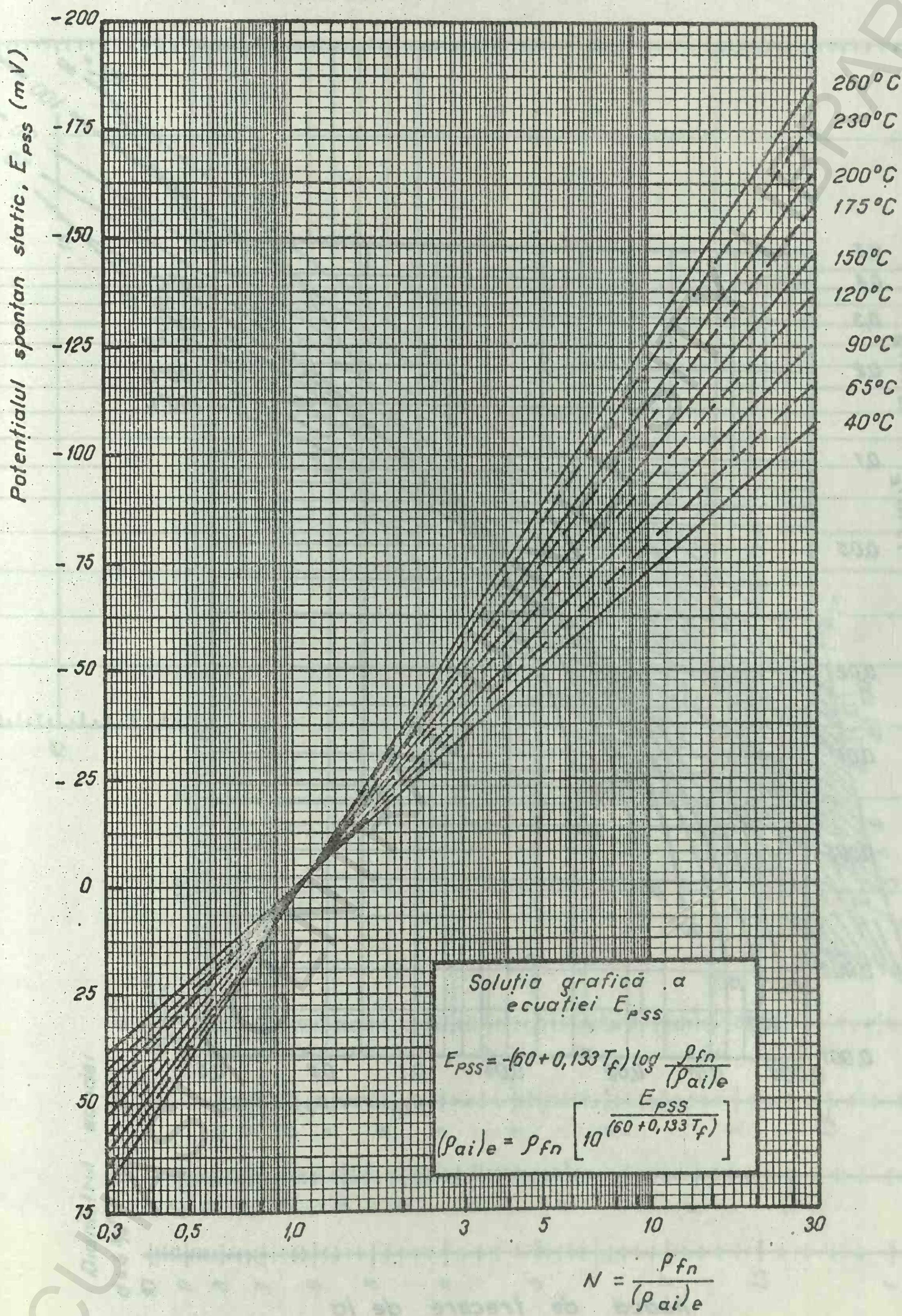
Abacă pentru determinarea grosimii stratelor prin metoda PS (după Neguț)

ABACA 4



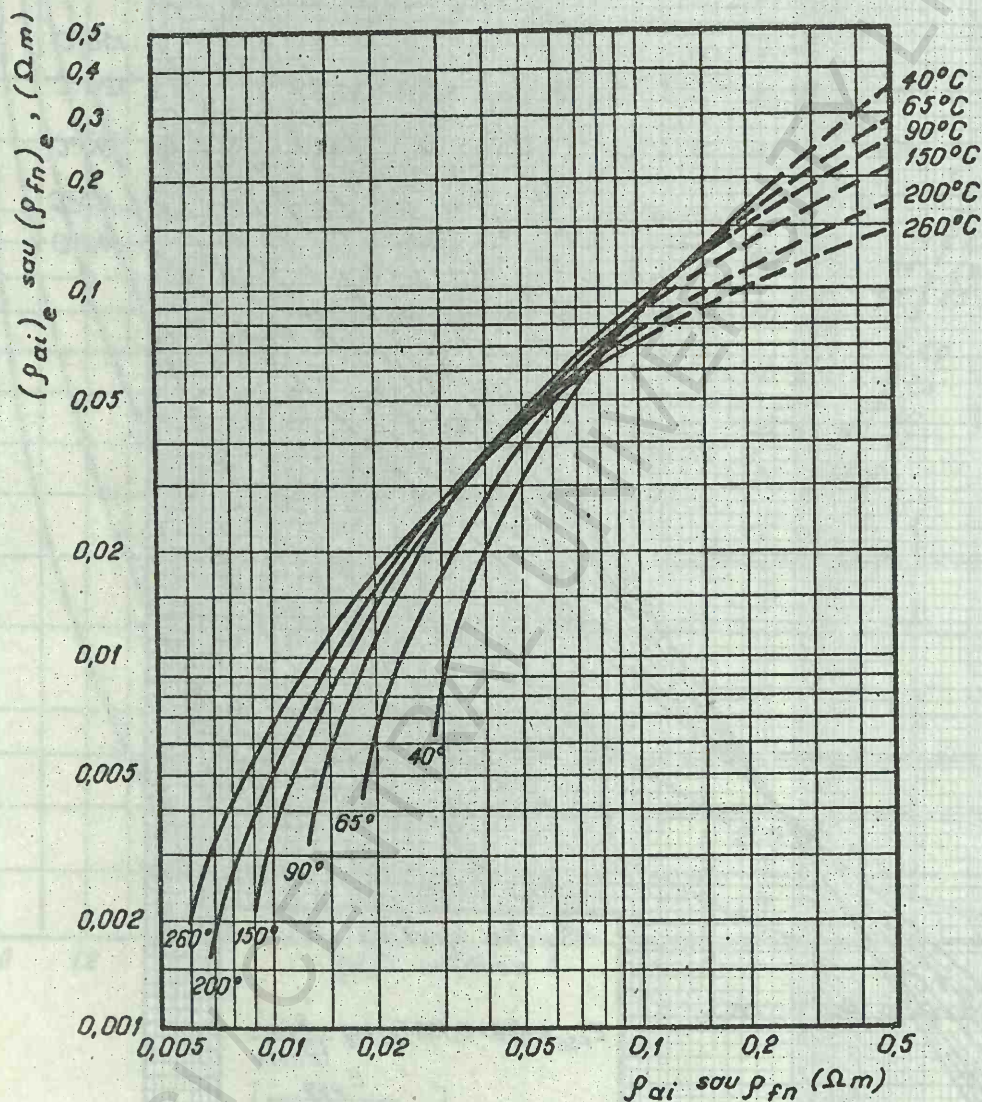
Corecția potențialului spontan înregistrat, ΔE_{PS}, cu grosimea stratului

ABACA 5



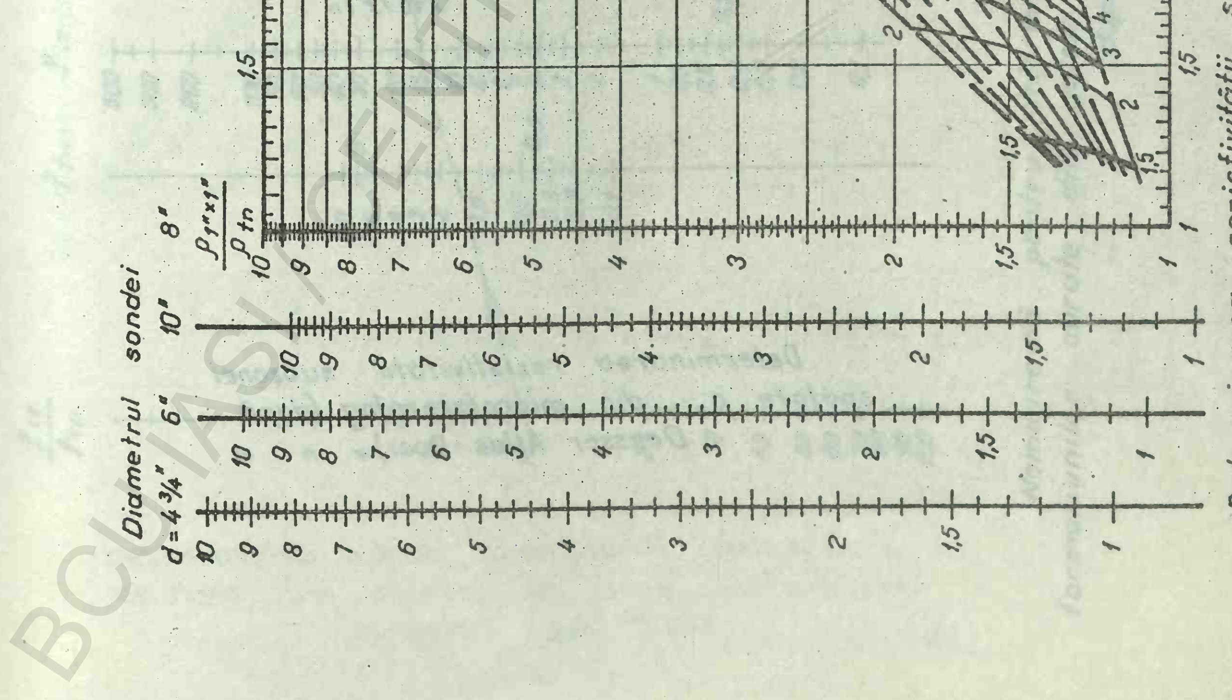
Determinarea rezistivității $(\rho_{ai})_e$ din E_{PSS} (formațiuni curate)

ABACA 6

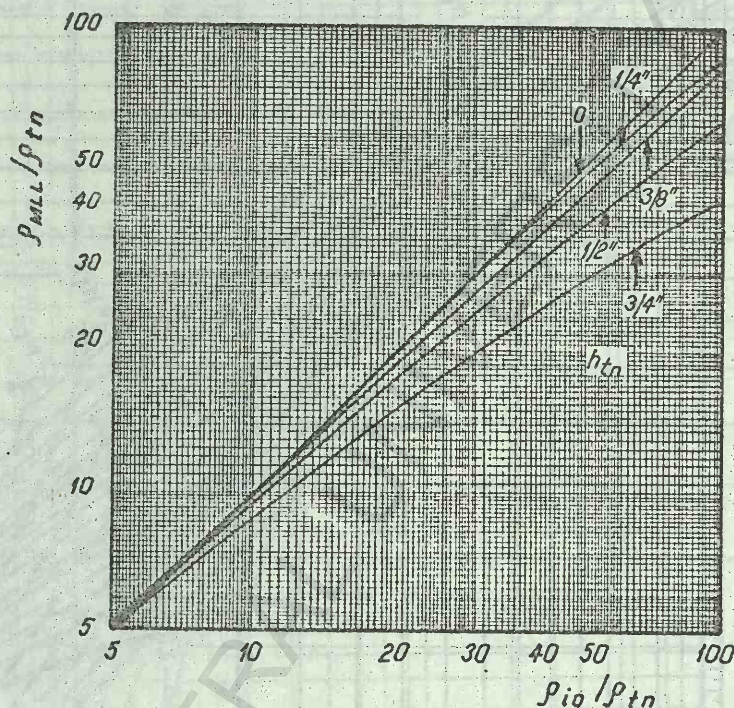


Abacă de trecere de la valori reale ρ_{ai}, ρ_{fn}, la valori echivalente $(\rho_{ai})_e$ și $(\rho_{fn})_e$

ABAÇA 7

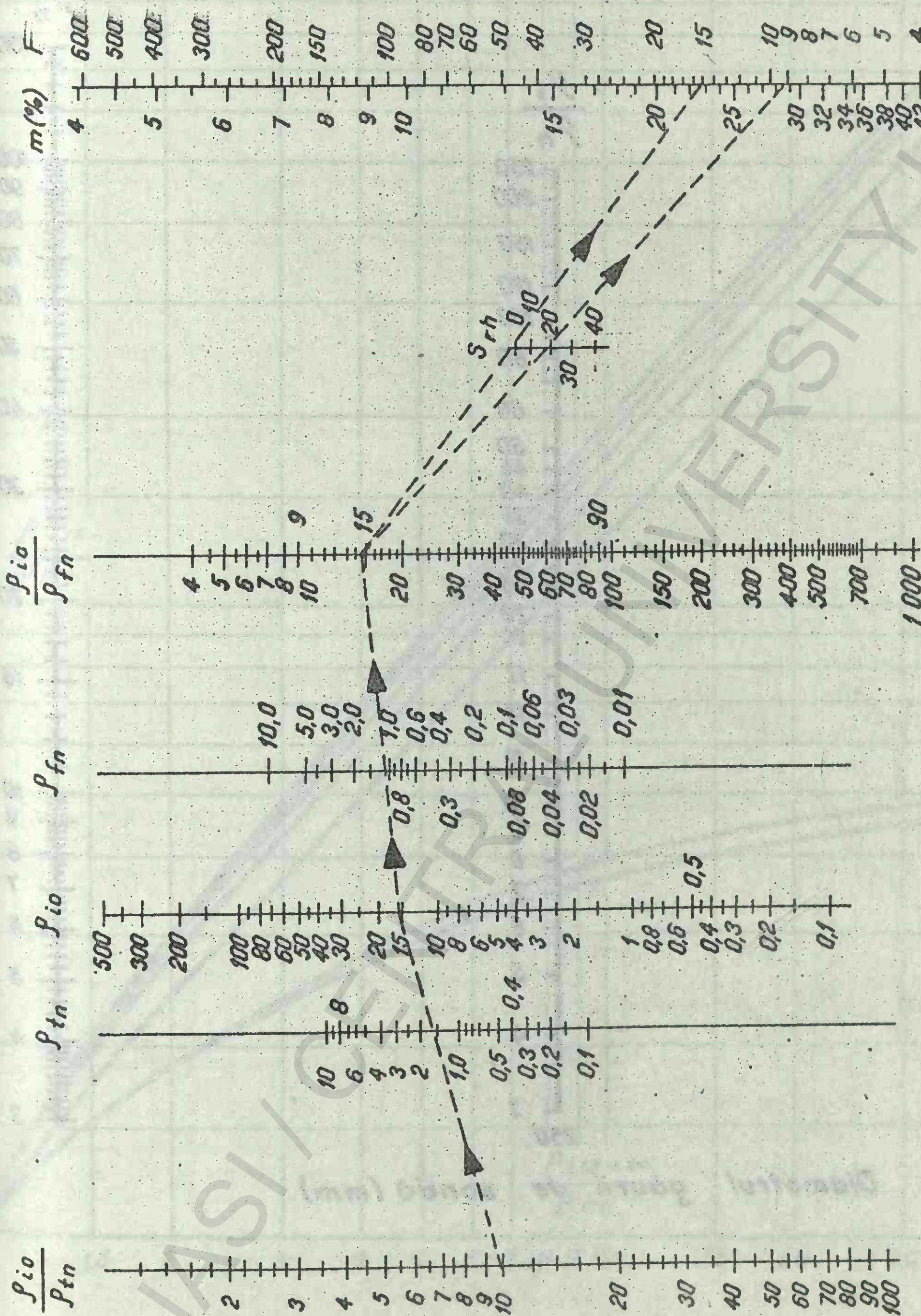

Diametrul sondei
d = 4 3/4"
6"
8"
10"
Determinarea rezistivității subzonei spălate, ρio, din microcarotaj
ρ1"x1" / ρtn
ρ2" / ρtn
ρio / ρtn

ABACA 8



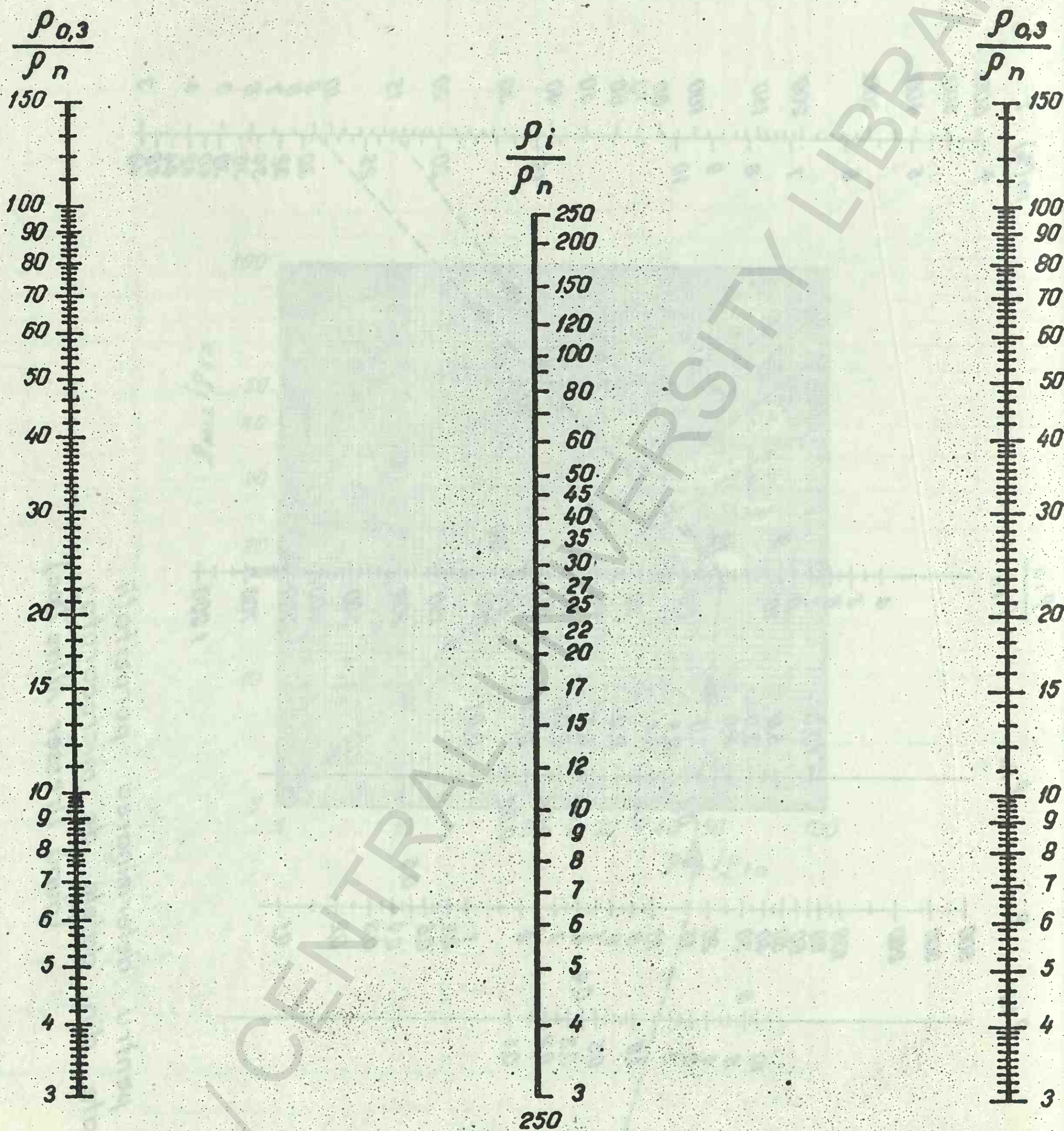
Determinarea rezistivității subzonei spălate, ρ_{oi}, din microlaterolog (după Dresser Atlas Doc.).

NOMOGRAMA 9



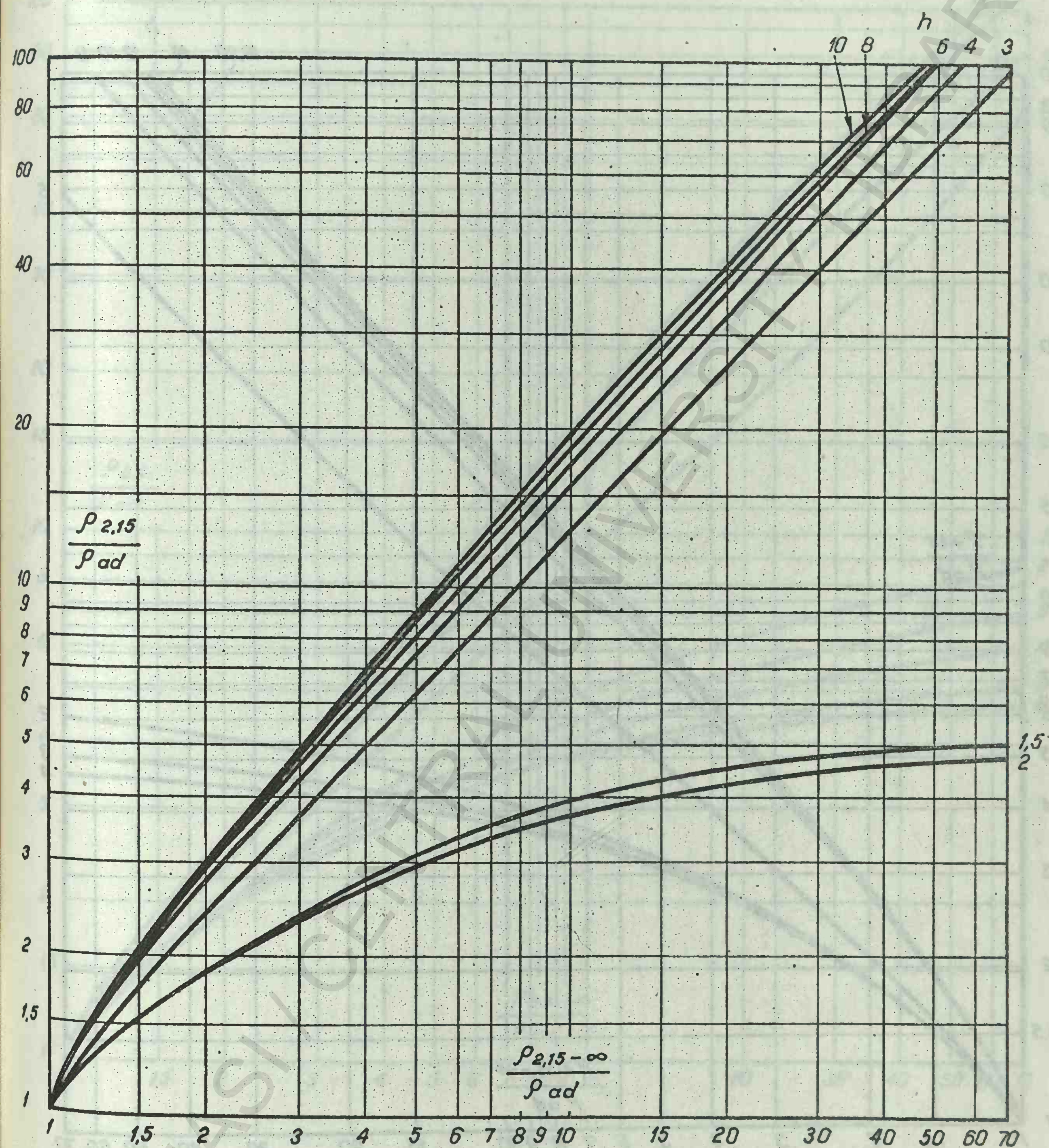
Nomogramă pentru determinarea porozității formațiunilor curate din datele de microcarotaj (după Dresser Atlas Doc)

NOMOGRAMA 10



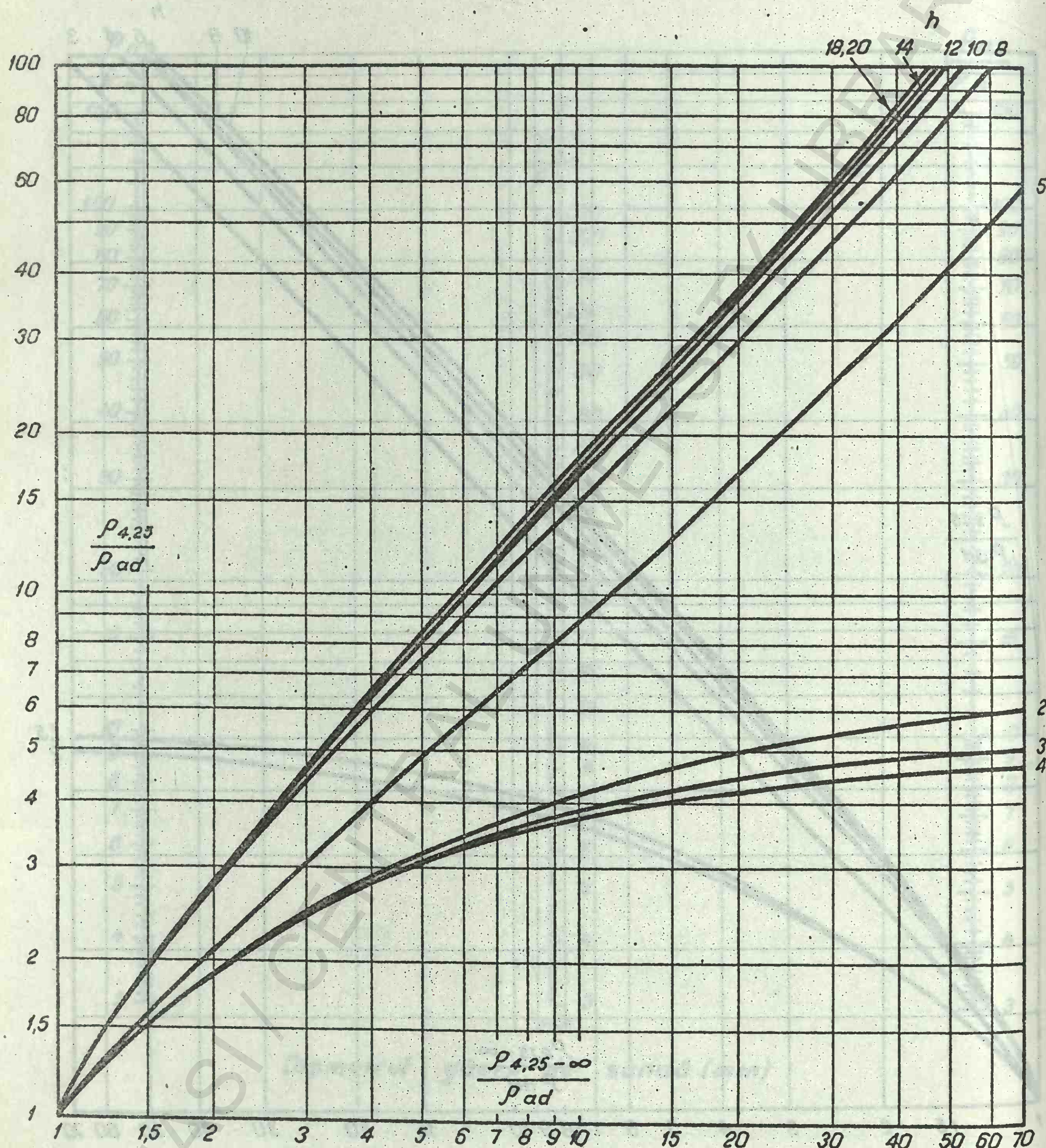
Nomogramă simplificată pentru determinarea rezistivității zonei de invazie prin metoda D.R.R. (după V. Negoiță).

ABACA 11



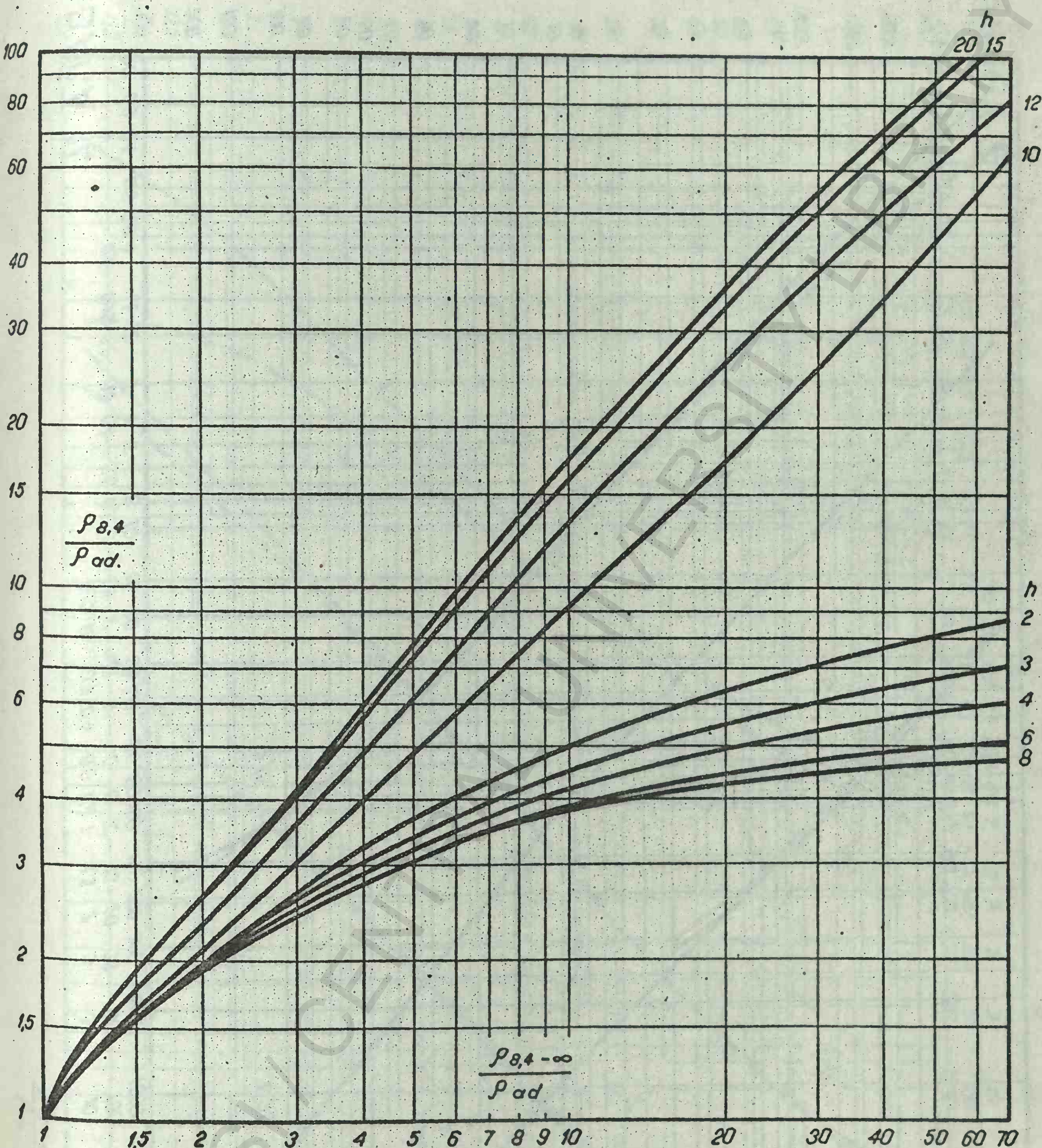
Abacă pentru corecția rezistivității cu grosimea stratului pentru $\rho_{2,15}$ (după V. Negoiță)

ABACA 12



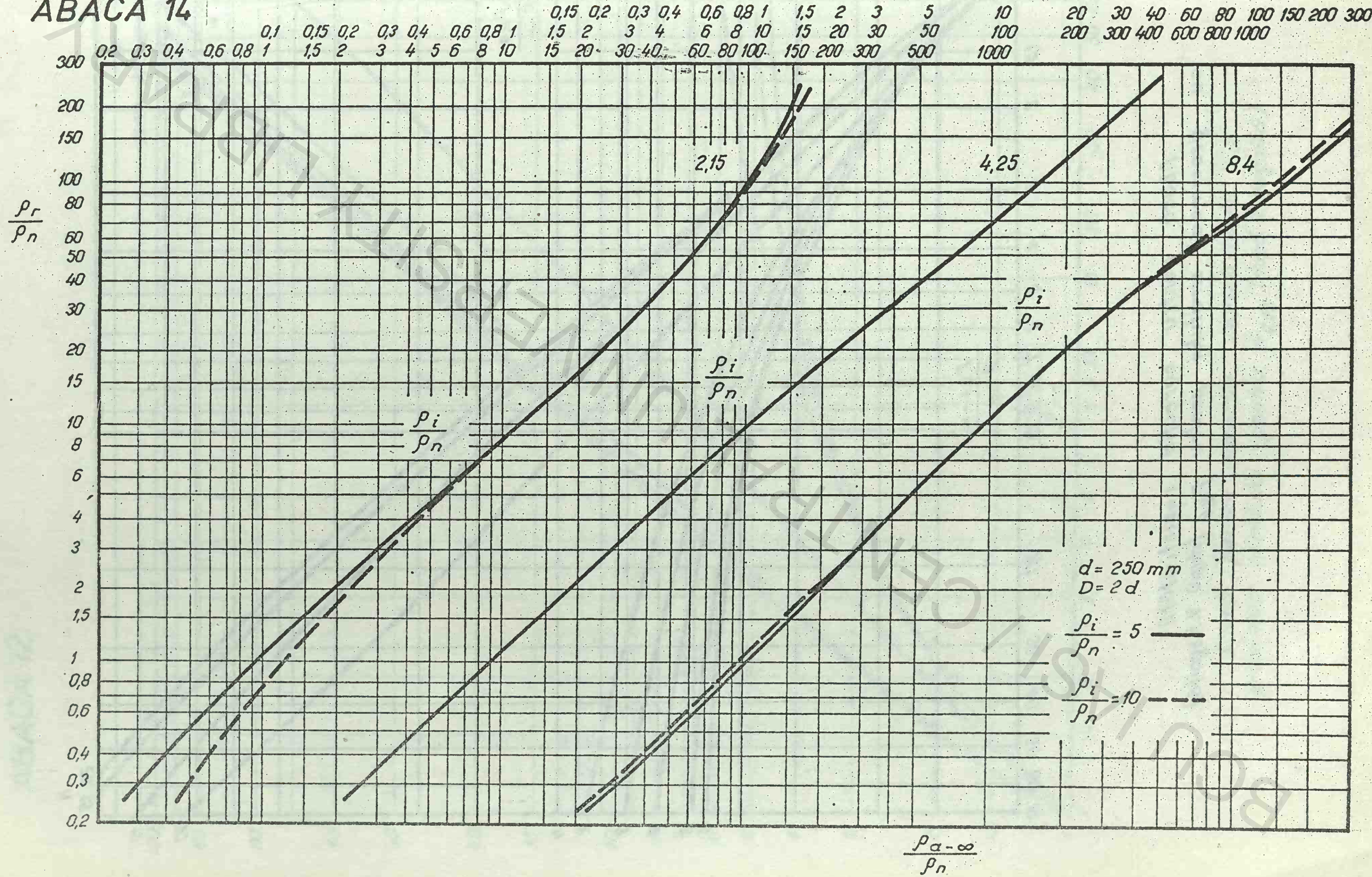
Abacă pentru corecția rezistivității cu grosimea stratului pentru $\rho_{4,25}$ (după V. Negoiță)

ABACA 13



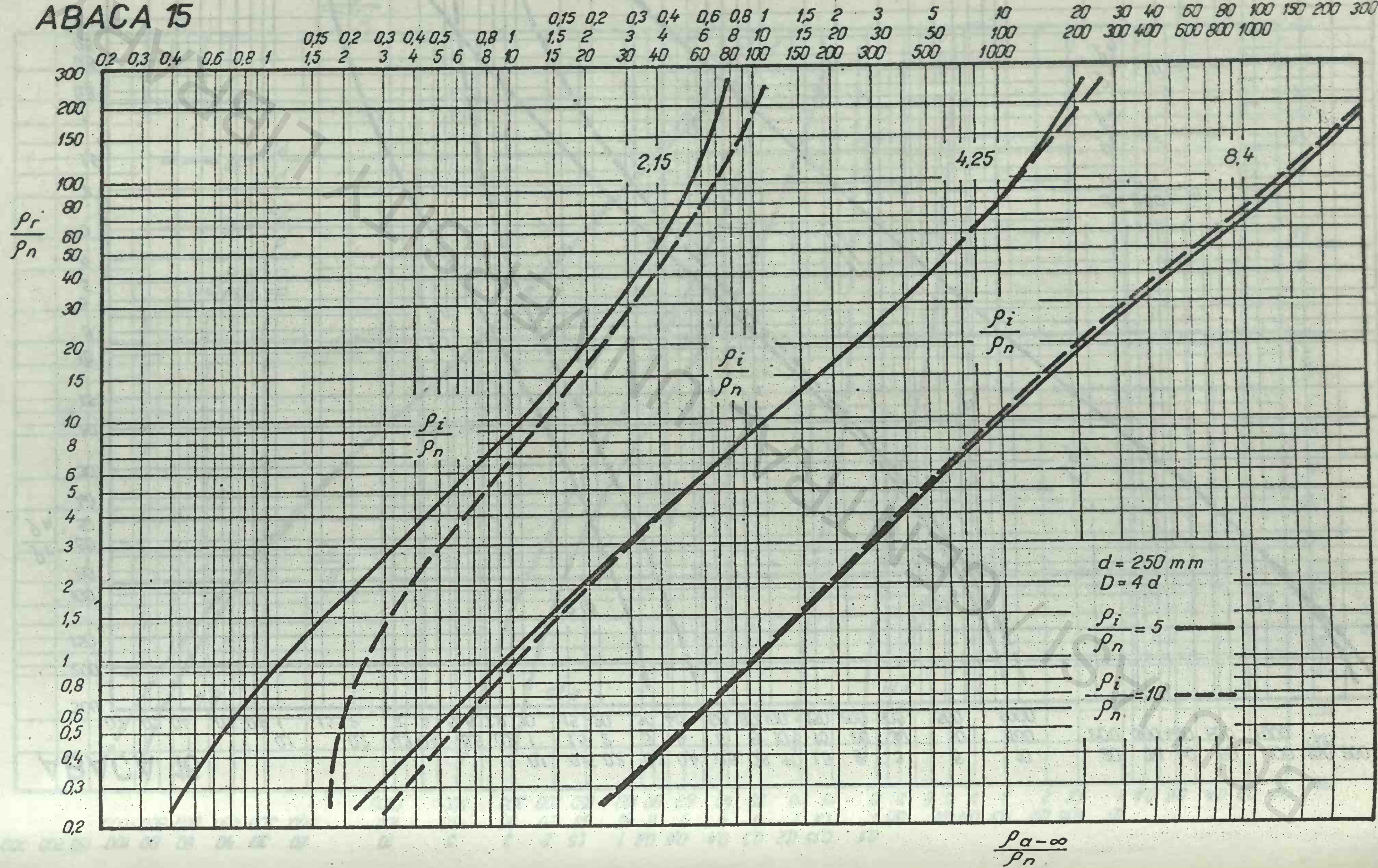
Abacă pentru corecția rezistivității cu grosimea stratului pentru $\rho_{8,4}$ (după V. Negoiță)

ABACA 14



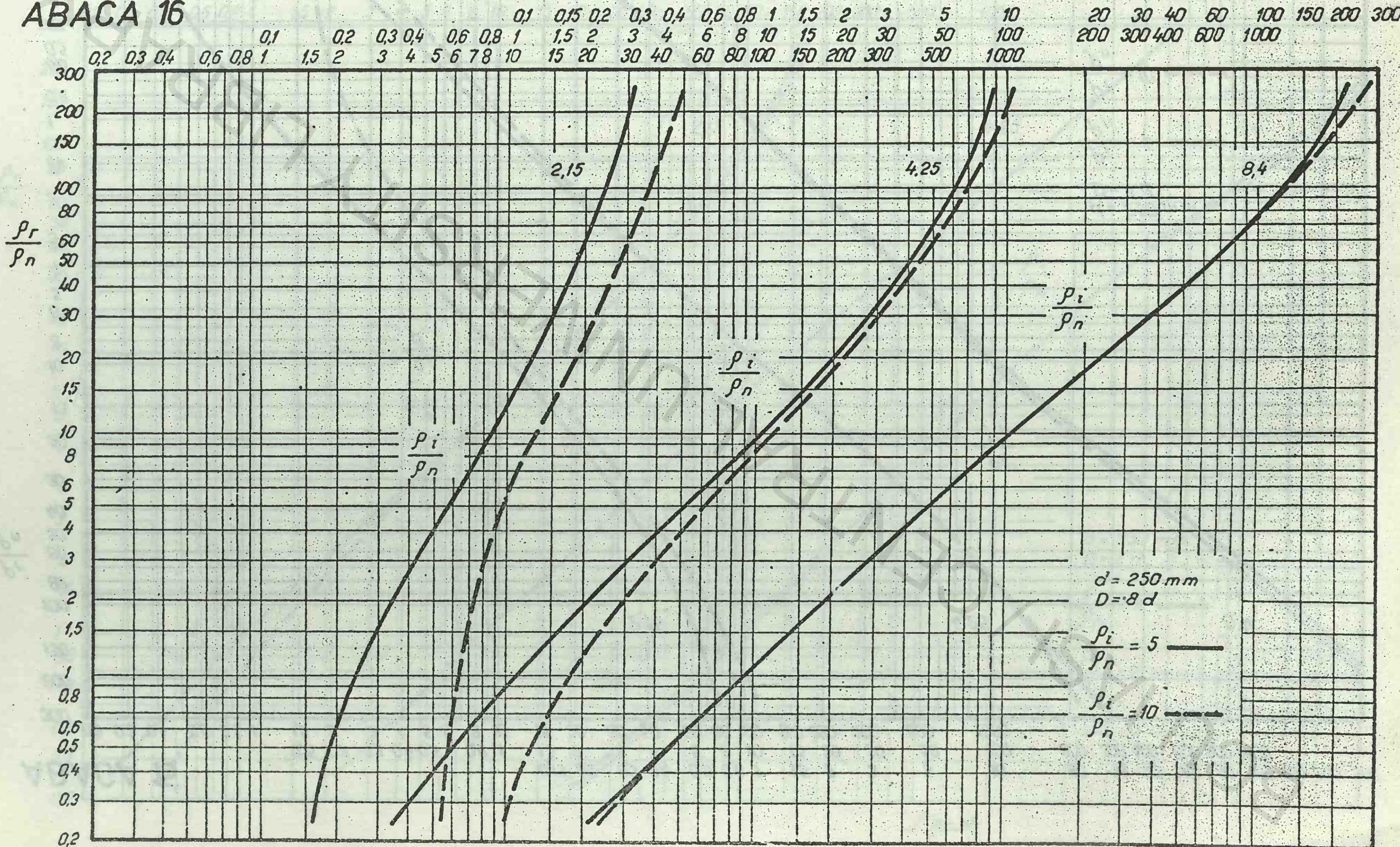
0,2 0,3 0,4 0,6 0,8 1 1,5 2 3 4 5 6 8 10 15 20 30 40 60 80 100 150 200 300 500 1000
0,1 0,15 0,2 0,3 0,4 0,6 0,8 1 1,5 2 3 4 6 8 10 15 20 30 50 100 200 300 400 600 800 1000
0,15 0,2 0,3 0,4 0,6 0,8 1 1,5 2 3 5 10 20 30 40 60 80 100 150 200 300
300 200 150 100 80 60 50 40 30 20 15 10 8 6 4 3 2 1,5 1 0,8 0,6 0,4 0,3 0,2
$\frac{\rho_r}{\rho_n}$
$\frac{\rho_i}{\rho_n}$
2,15
4,25
8,4
d = 250 mm
D = 2 d
$\frac{\rho_i}{\rho_n} = 5$
$\frac{\rho_i}{\rho_n} = 10$
$\frac{\rho_{a-\infty}}{\rho_n}$

ABACA 15



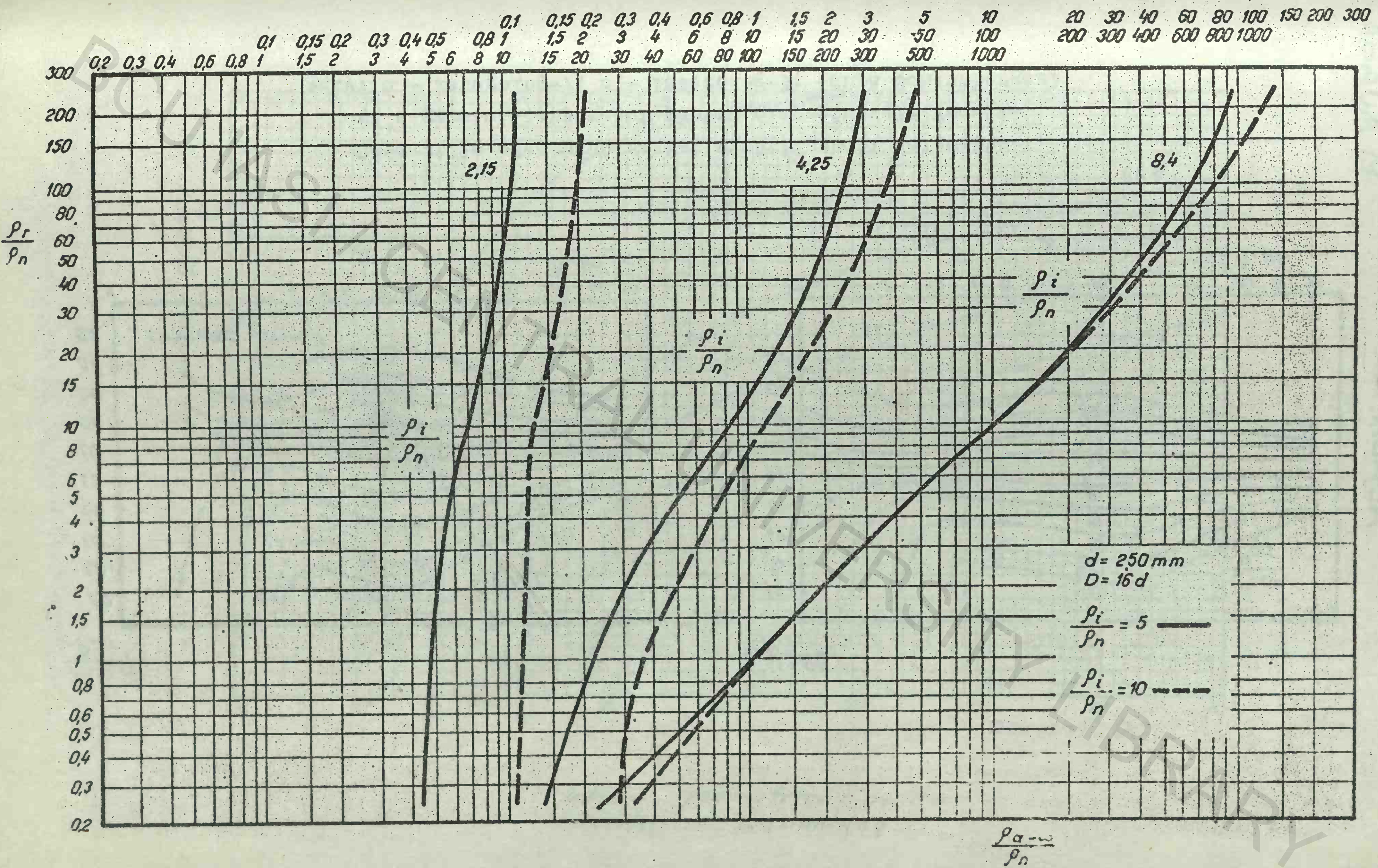
0,15 0,2 0,3 0,4 0,6 0,8 1 1,5 2 3 5 10 20 30 40 60 80 100 150 200 300
0,15 0,2 0,3 0,4 0,5 0,8 1 1,5 2 3 4 6 8 10 15 20 30 50 100 200 300 400 600 800 1000
0,2 0,3 0,4 0,6 0,8 1 1,5 2 3 4 5 6 8 10 15 20 30 40 60 80 100 150 200 300 500 1000
300 200 150 100 80 60 50 40 30 20 15 10 8 6 5 4 3 2 1,5 1 0,8 0,6 0,5 0,4 0,3 0,2
$\frac{\rho_r}{\rho_n}$
2,15
4,25
8,4
$\frac{\rho_i}{\rho_n}$
d = 250 mm
D = 4 d
$\frac{\rho_i}{\rho_n} = 5$
$\frac{\rho_i}{\rho_n} = 10$
$\frac{\rho_{a-\infty}}{\rho_n}$

ABACA 16

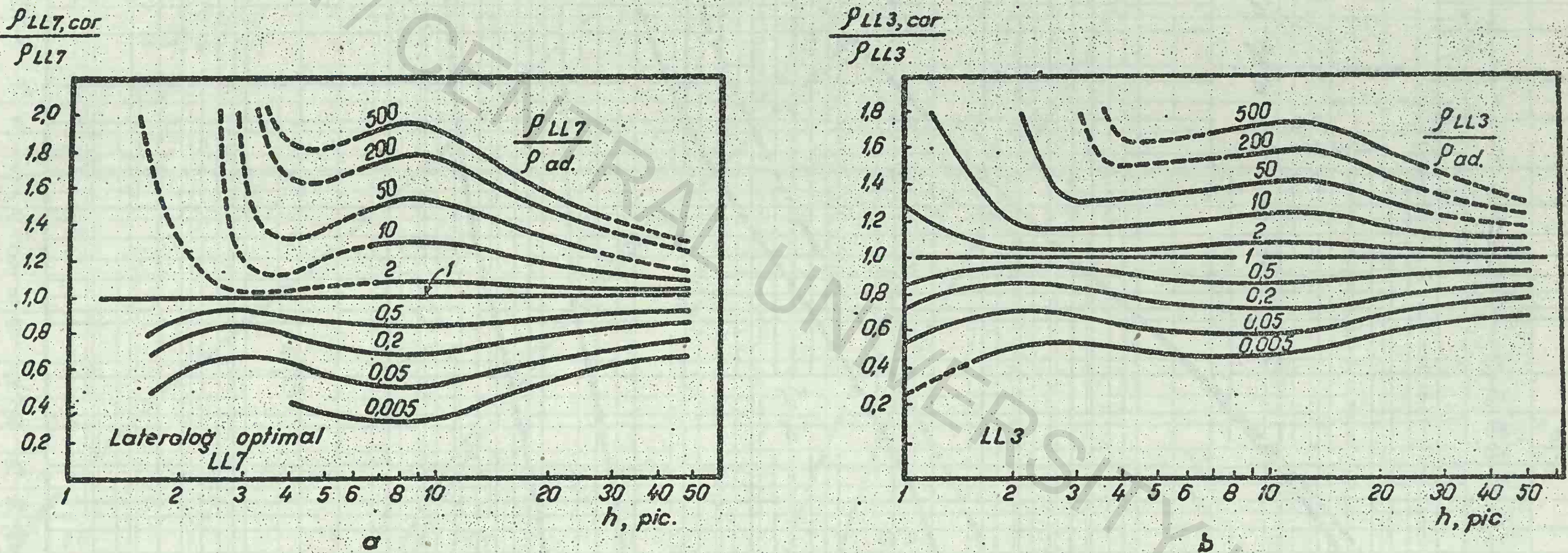


$\frac{\rho_r}{\rho_n}$
$\frac{\rho_i}{\rho_n}$
2,15
4,25
8,4
$\frac{\rho_{a-\infty}}{\rho_n}$
d = 250 mm
D = 8 d
$\frac{\rho_i}{\rho_n} = 5$
$\frac{\rho_i}{\rho_n} = 10$

ABACA 17

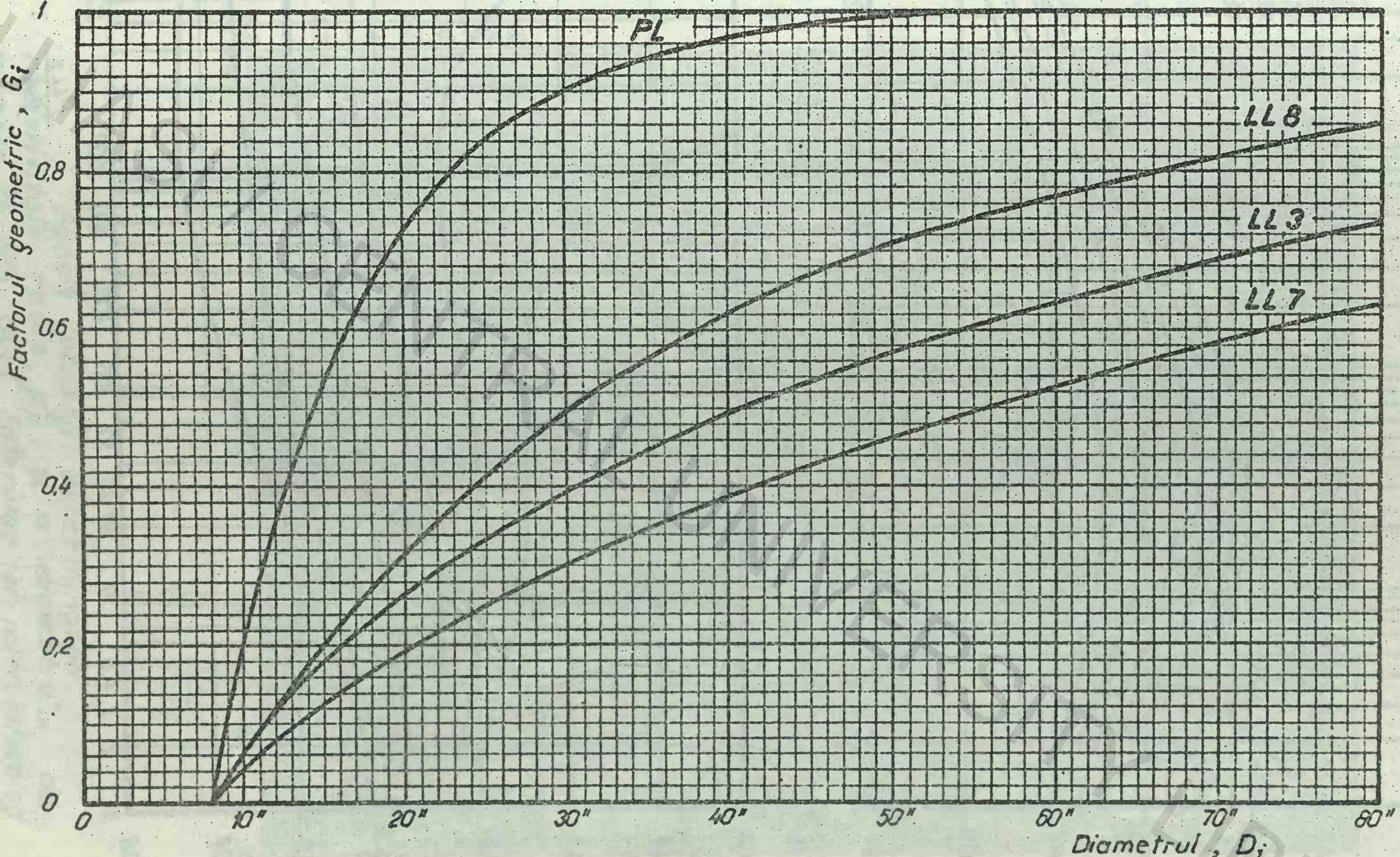


ABACA 18



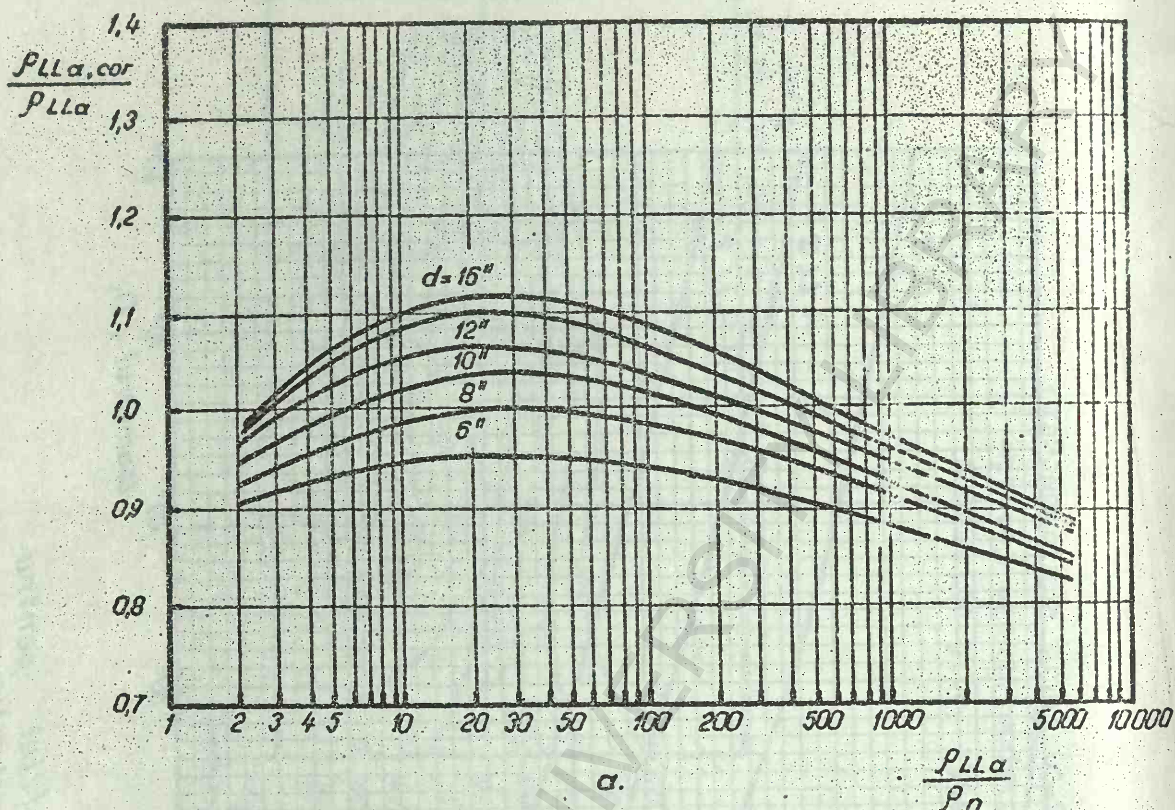
Corecţiile efectului rezistivităţii rocii adiacente şi a grosimii stratului pentru dispozitivele focalizate: a - laterolog-7; b - laterolog-3; (după Schlumberger)

ABACA 19

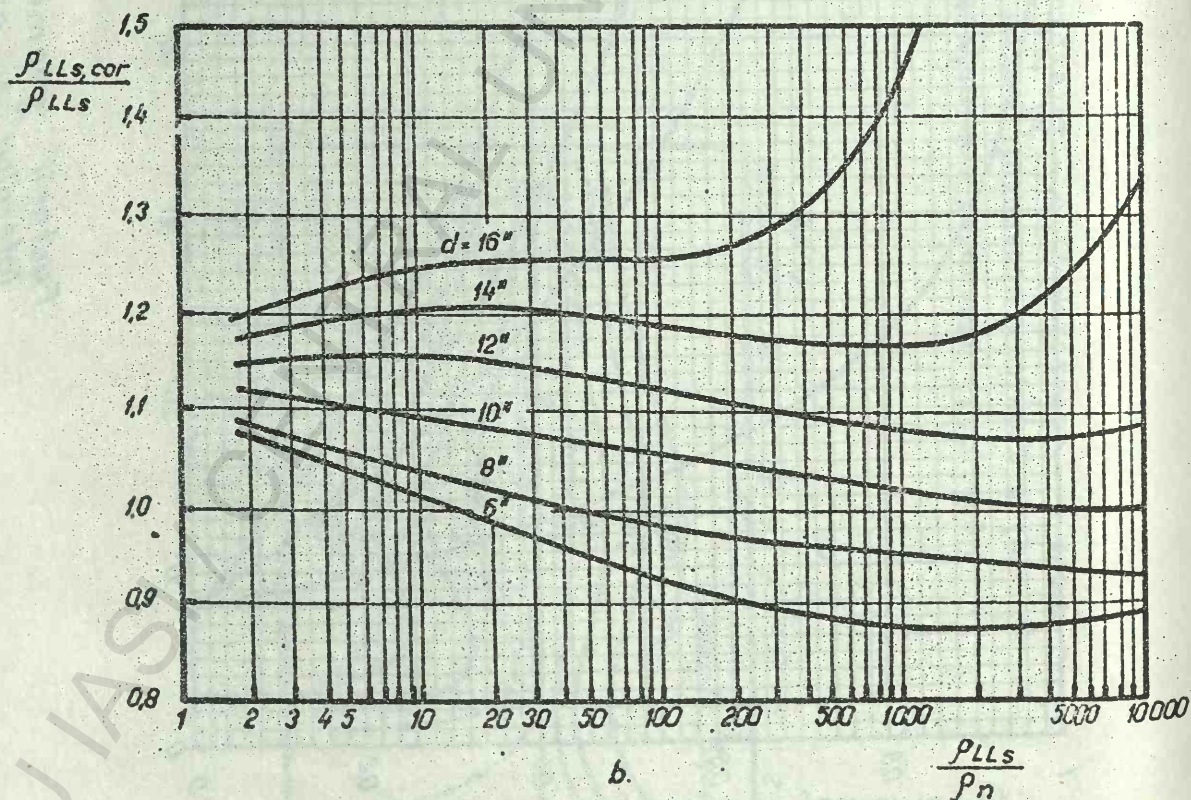


Factorii geometrici pentru laterolog şi proximitilog

ABACA 20



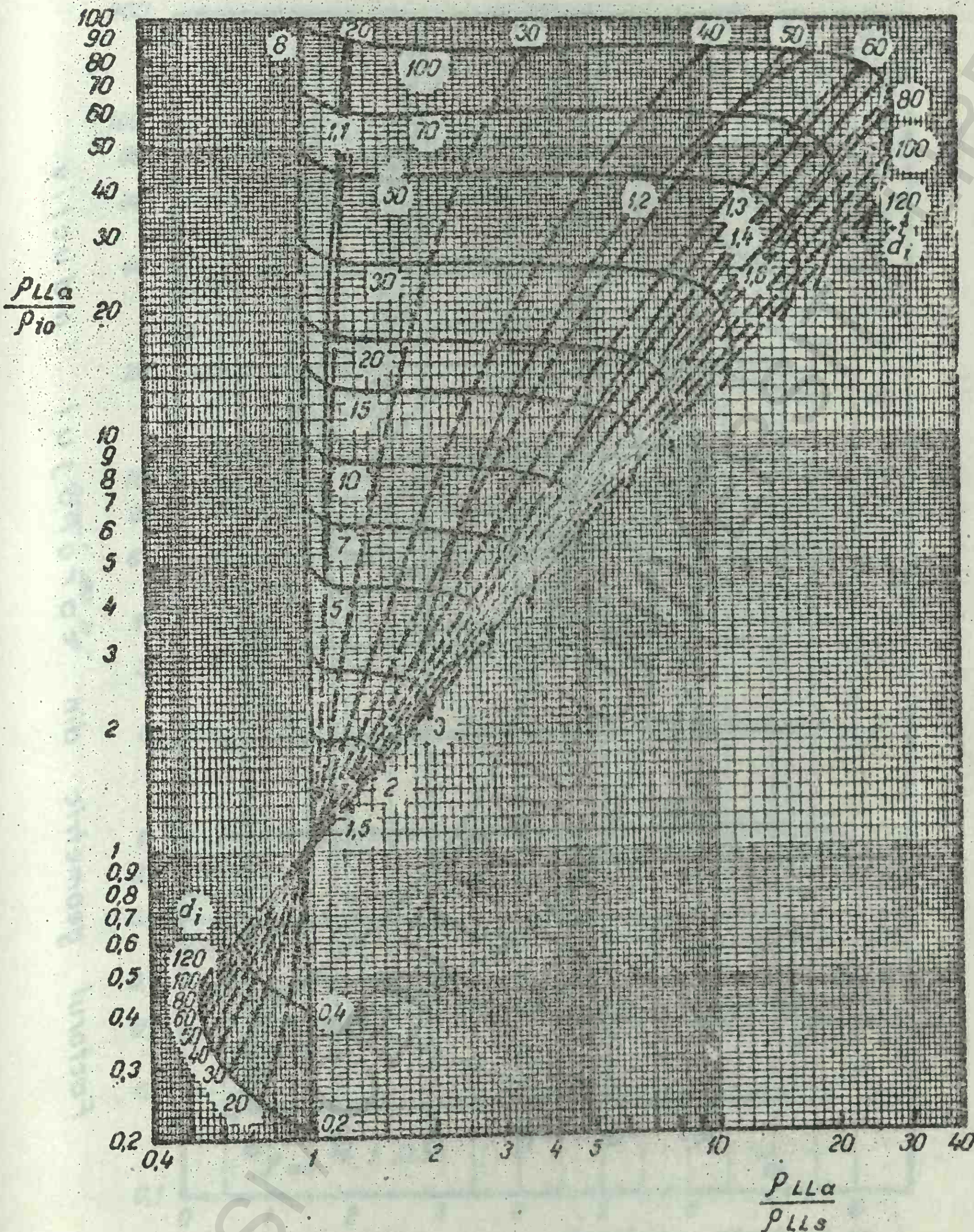
a.



b.

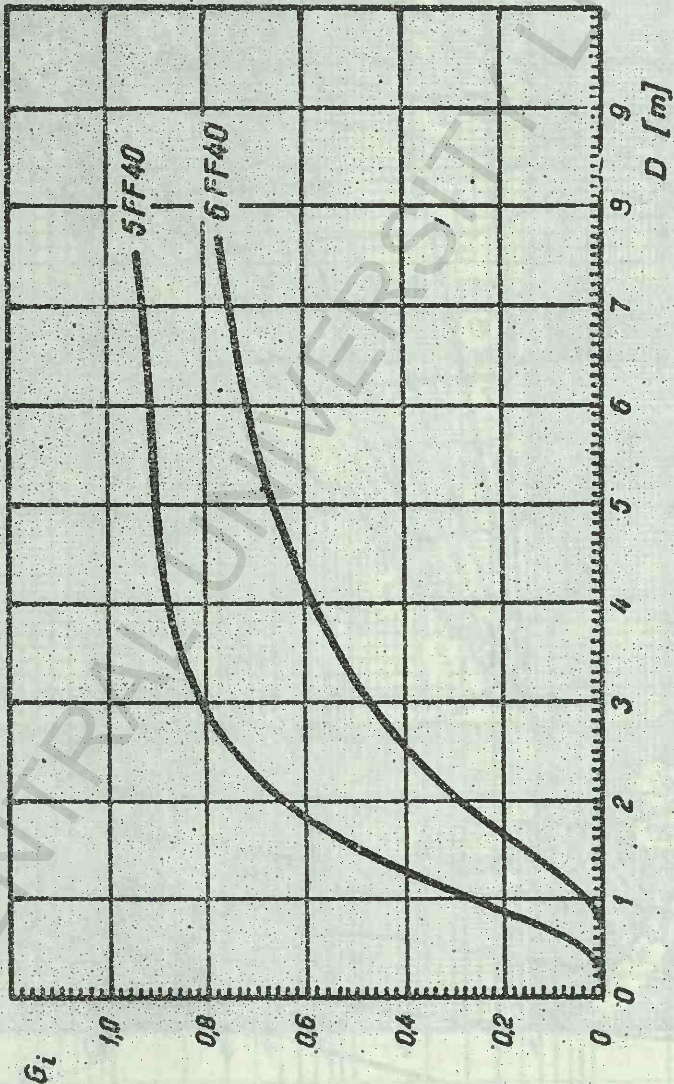
Corecția efectului găurii de sondă pentru dispozitive focalizate : a - dispozitiv cu investigație adîncă ; b - dispozitiv cu investigație superficială (după Dresser Atlas Doc.)

ABACA 21



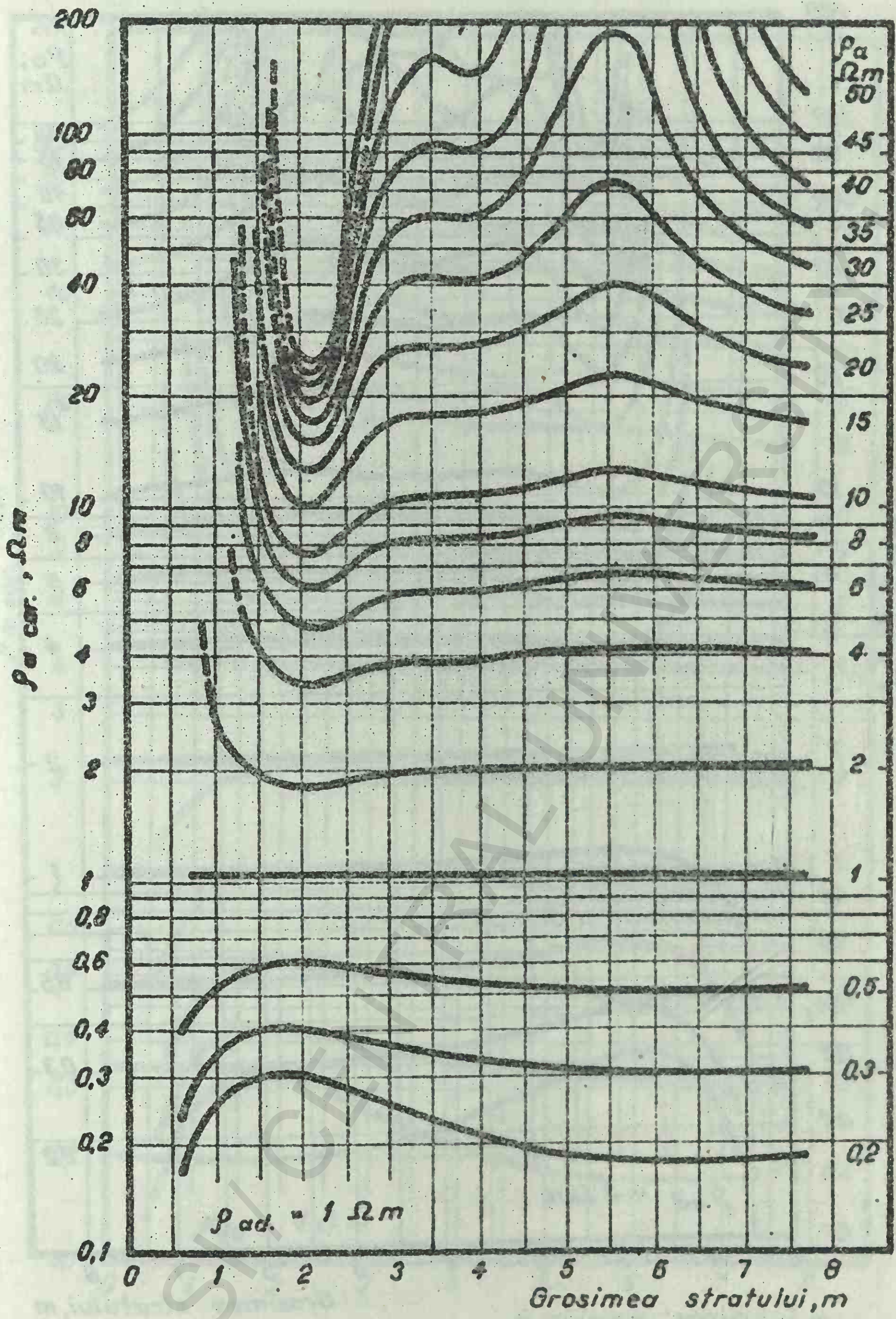
Abacă pentru determinarea rezistivității reale, ρ_R, și a diametrului de invazie, D, din dual laterolog și microlaterolog (ρ_{io}) (după Dresser Atlas Doc.)

ABACA 22



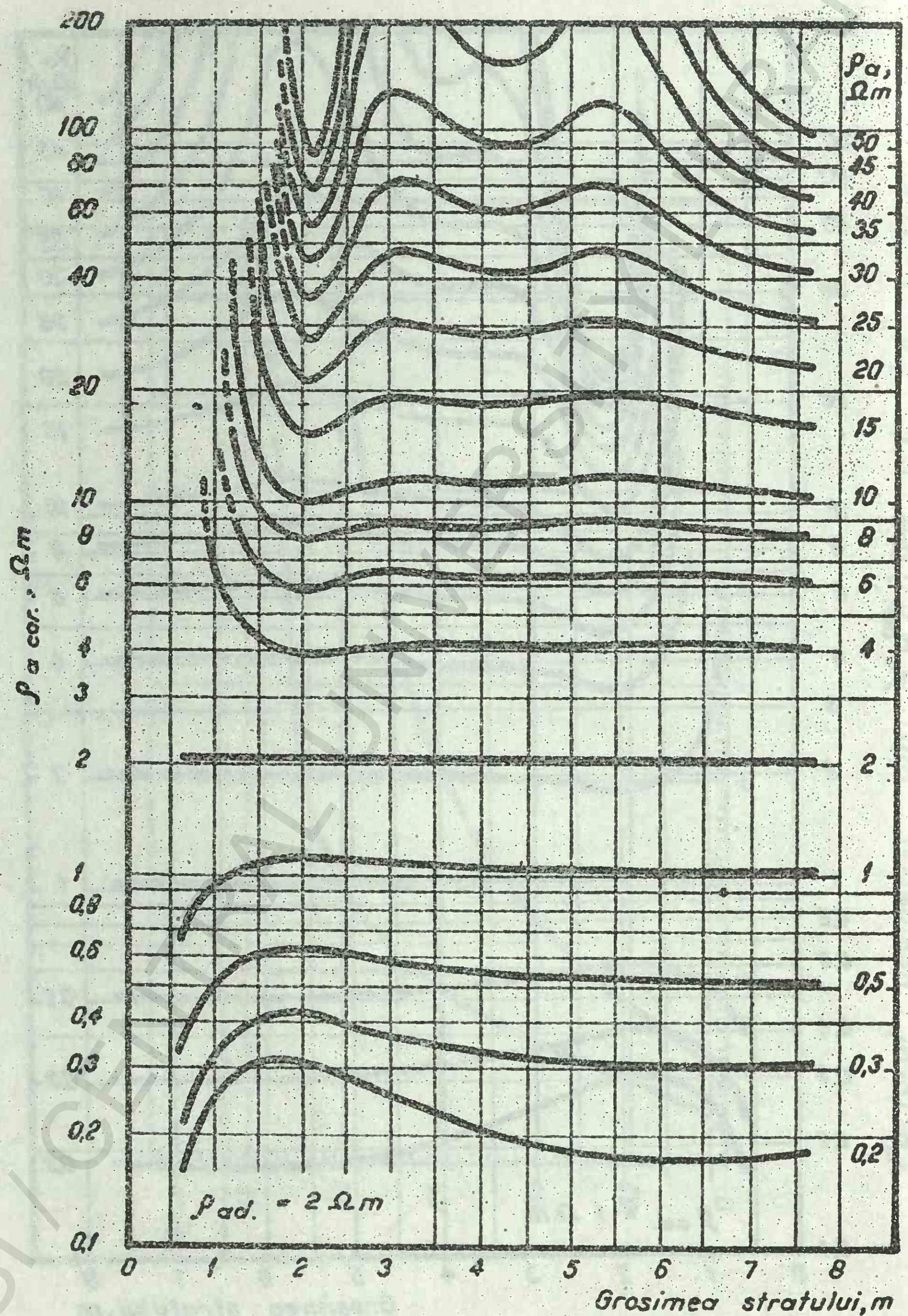
Factorul geometric din carotajul inductiv

ABACA 23



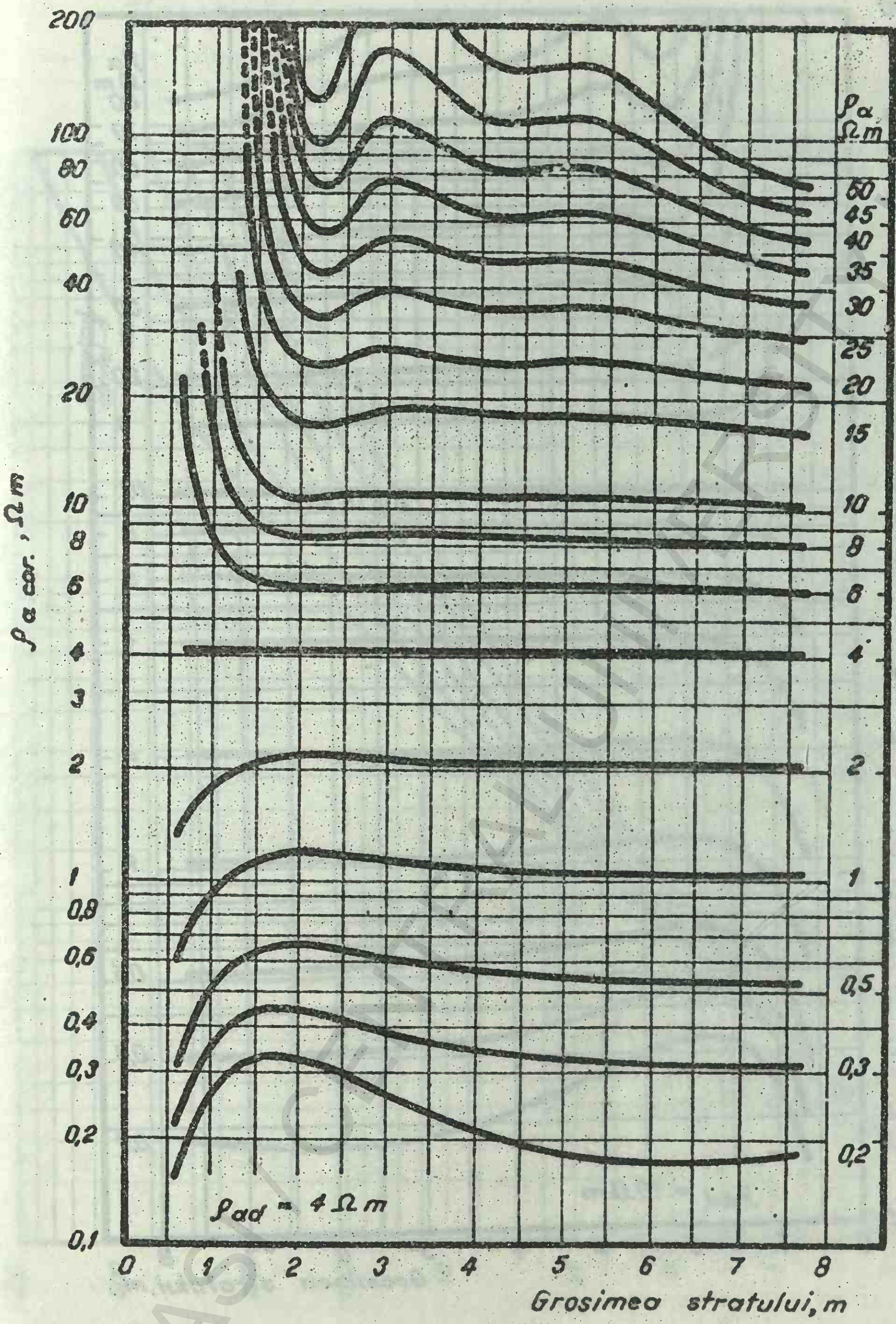
Corecția rezistivității cu grosimea stratului pentru dispozitivul de inducție (după Schlumberger)

ABACA 24



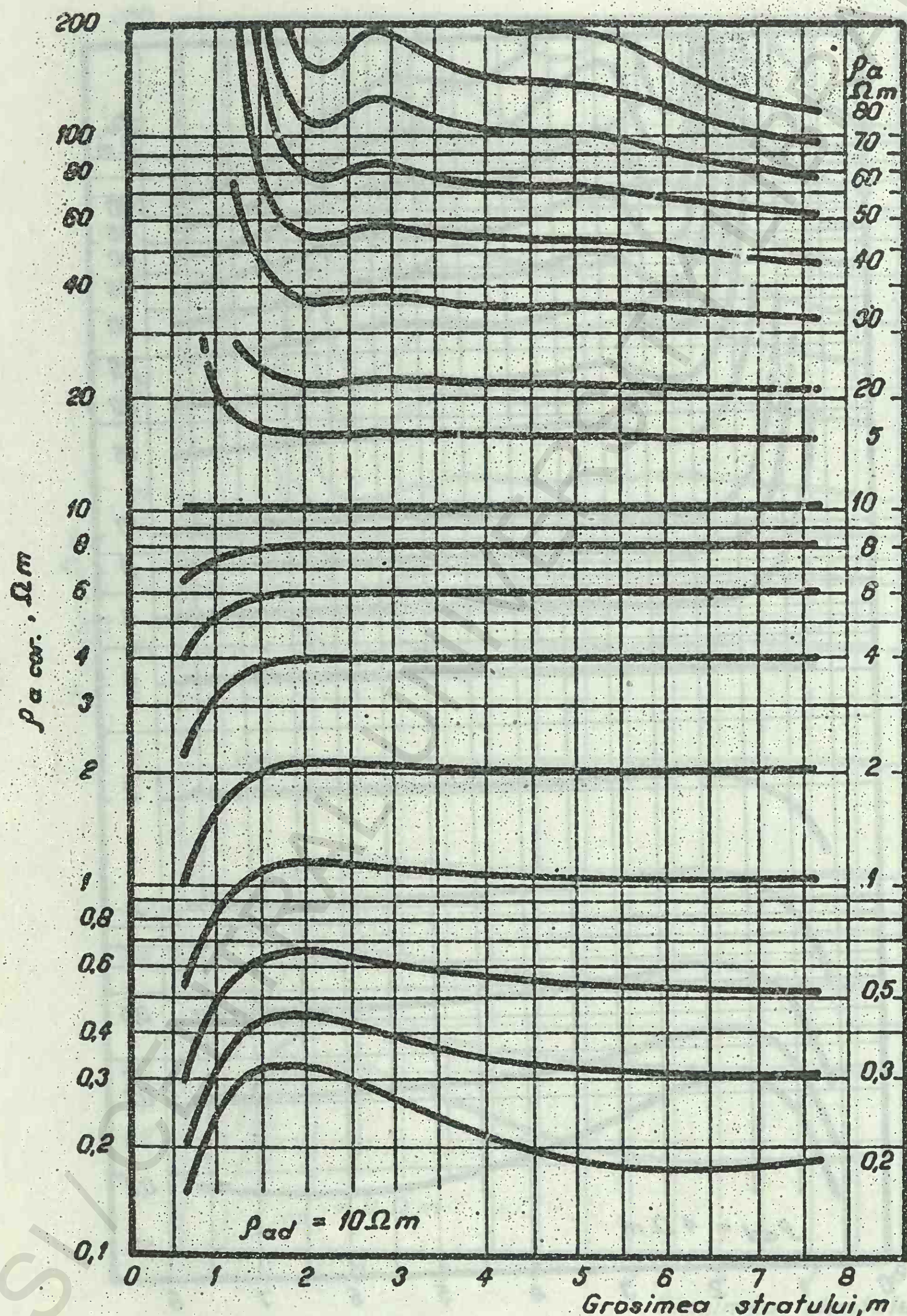
Corecția rezistivității cu grosimea stratului pentru dispozitivul de inducție (după Schlumberger)

ABACA 25



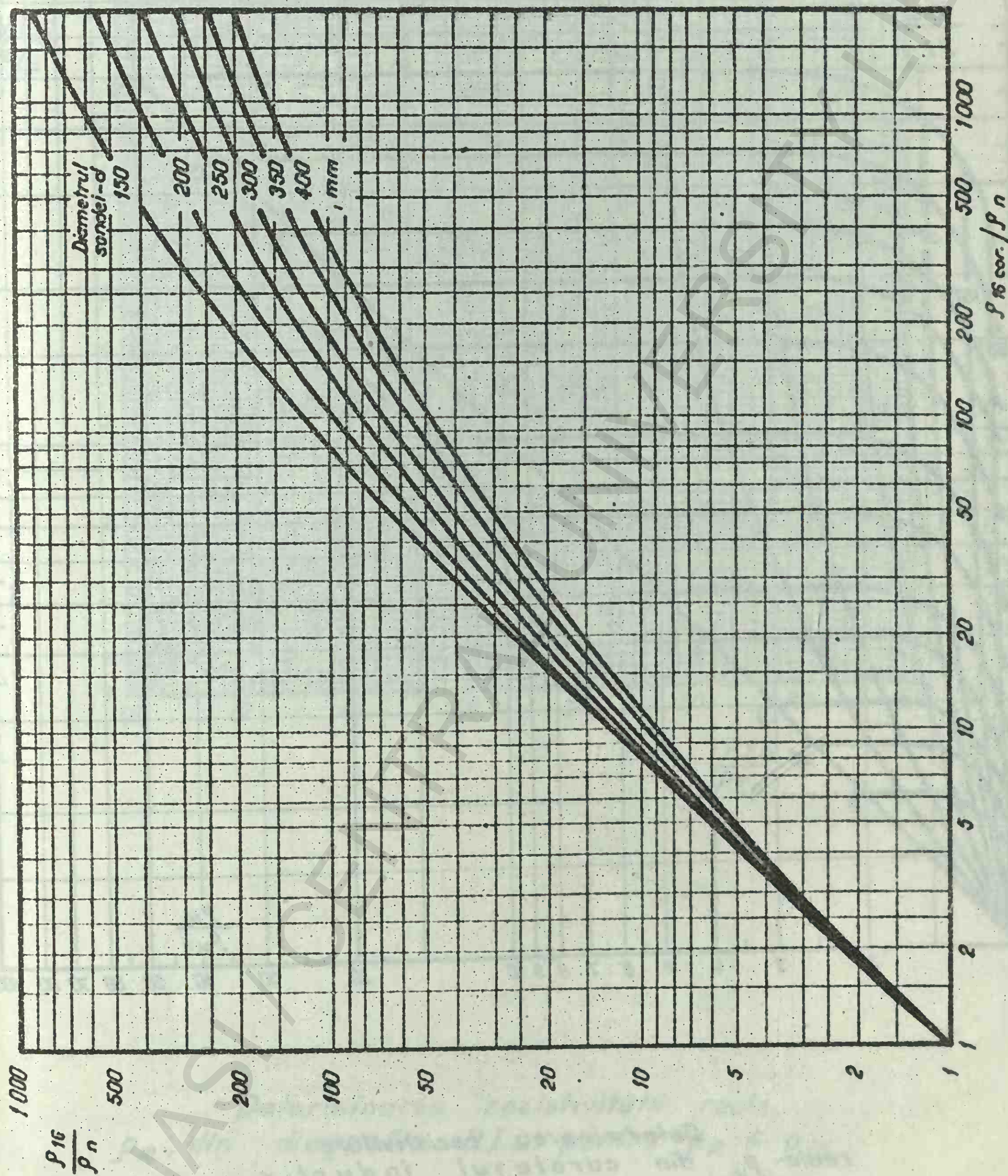
Corecția rezistivității cu grosimea stratului pentru dispozitivul de inducție (după Schlùmberger)

ABACA 26



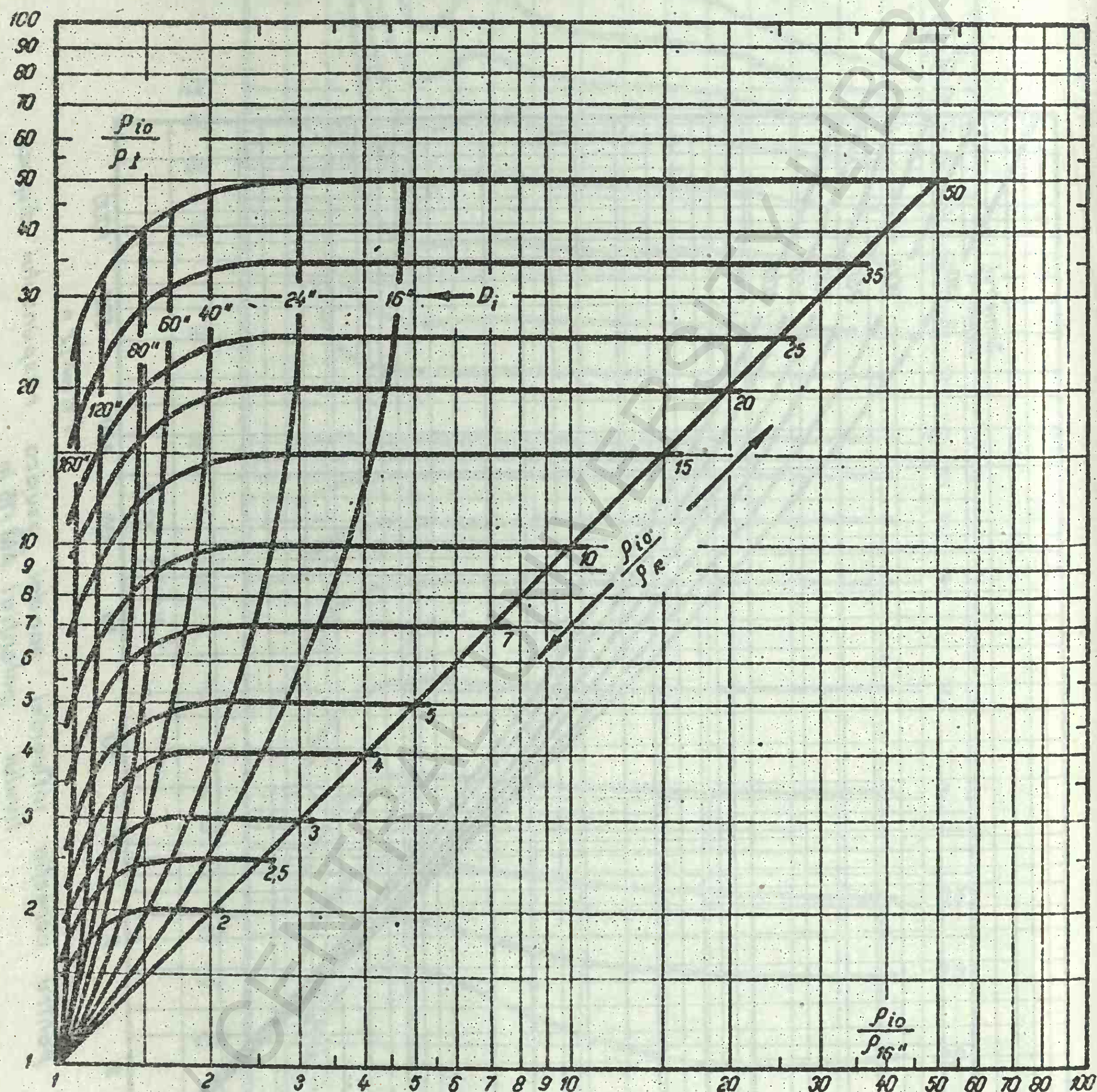
Corecția rezistivității cu grosimea stratului pentru dispozitivul de inducție (după Schlumberger)

ABACA 27



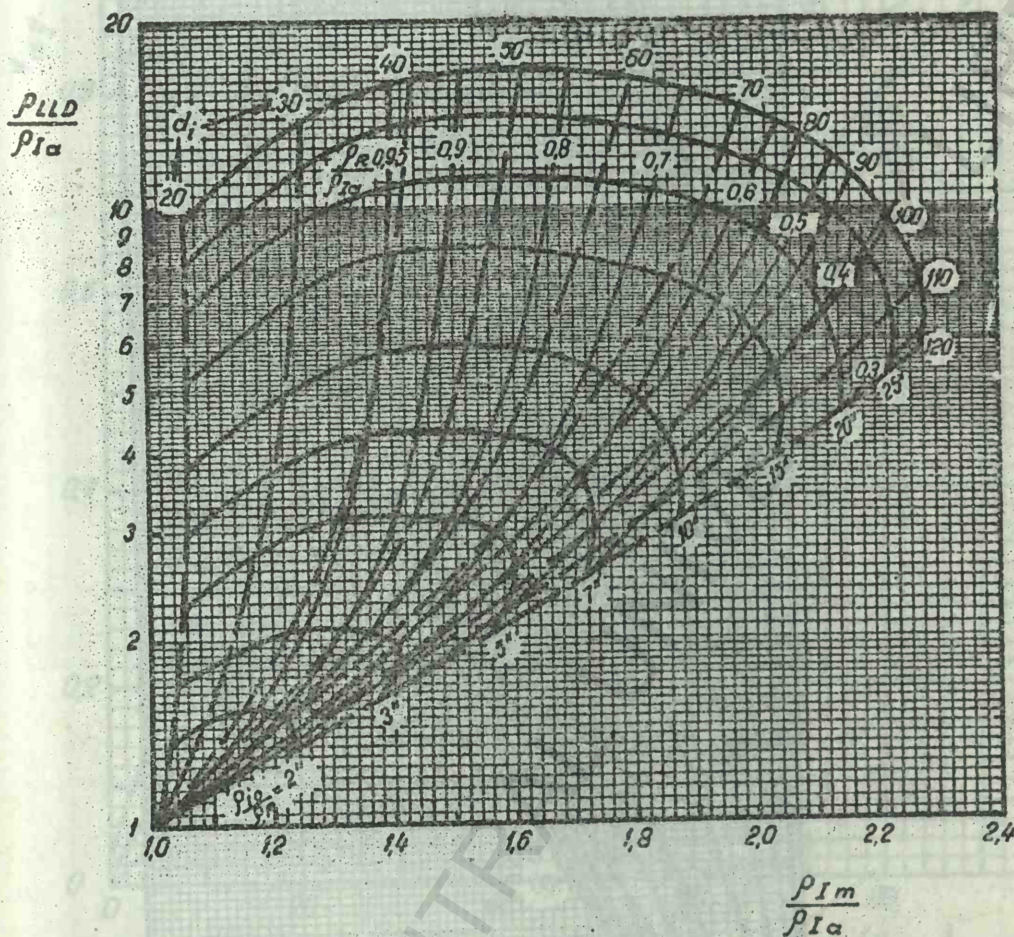
Abacă pentru corecția influenței sondei asupra răspunsului dispozitivului potențial $\overline{AM}$ -16 in.

ABACA 28



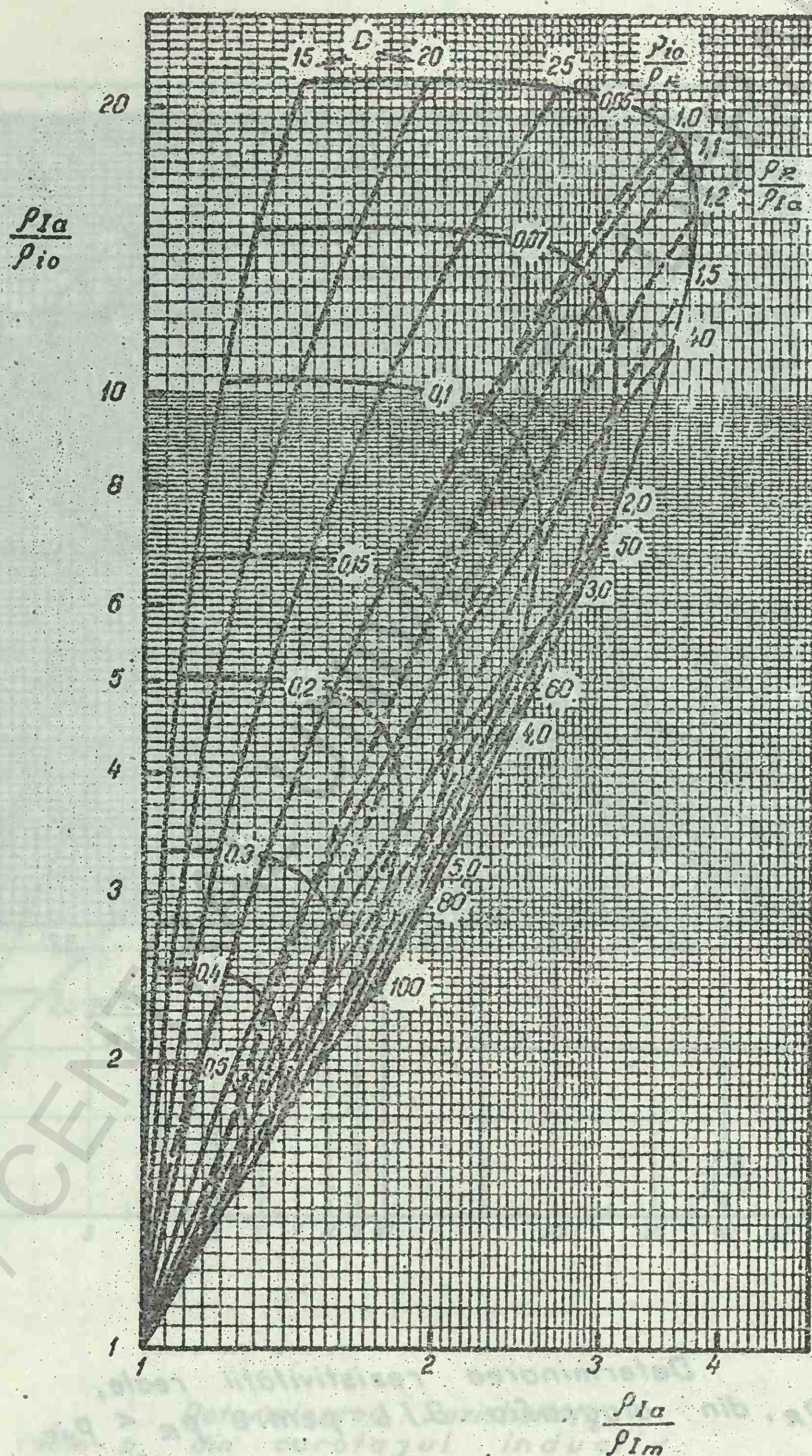
Determinarea rezistivității reale ρ_R din carotajul inductiv

ABACA 29



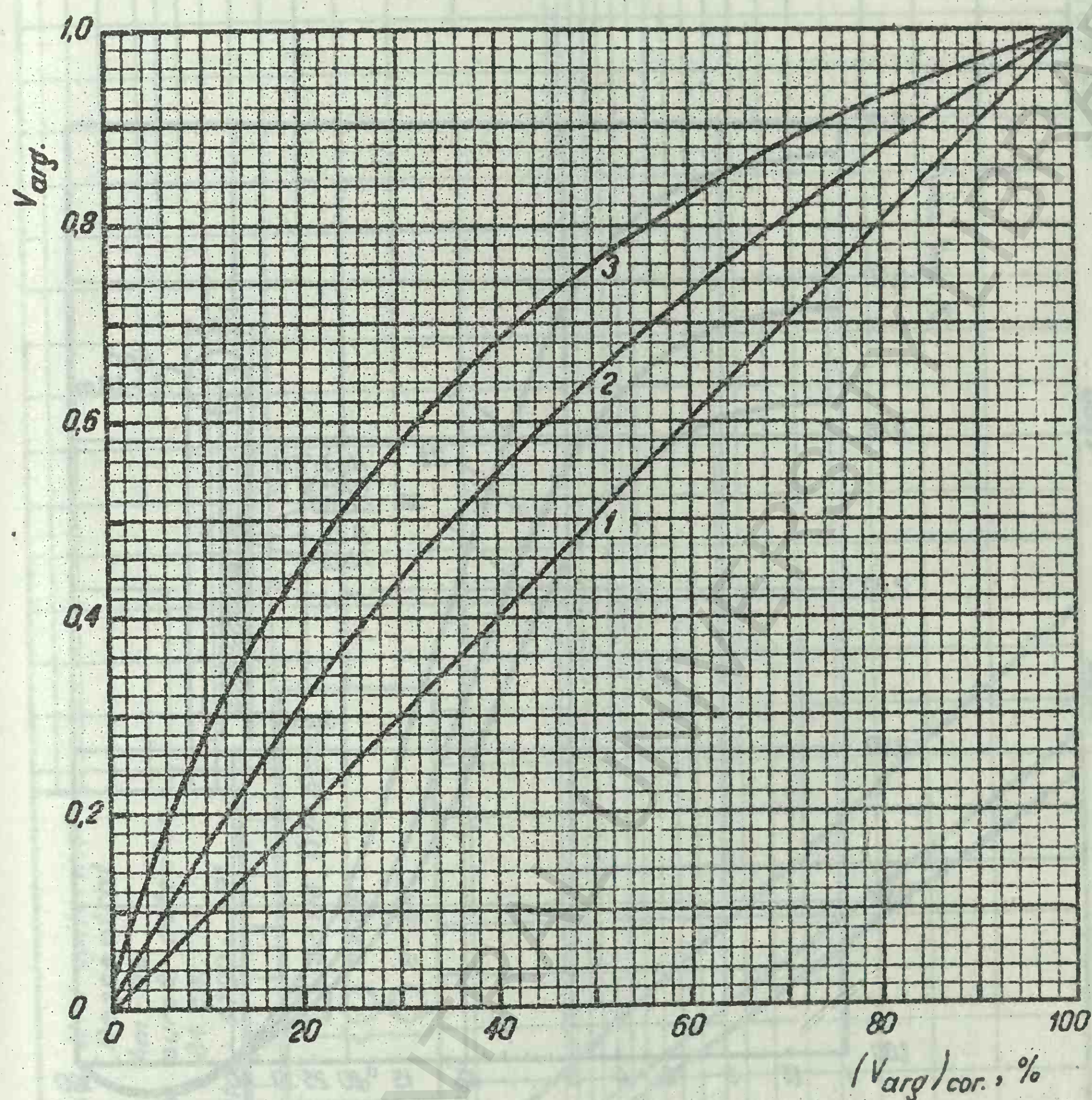
Determinarea rezistivității reale, ρ_R, din diagrafia D.I.L. pentru $\rho_R < \rho_{io}$

ABACA 30



Determinarea rezistivității reale, ρ_R, din diagrafia D.I.L. pentru $\rho_R > \rho_{io}$

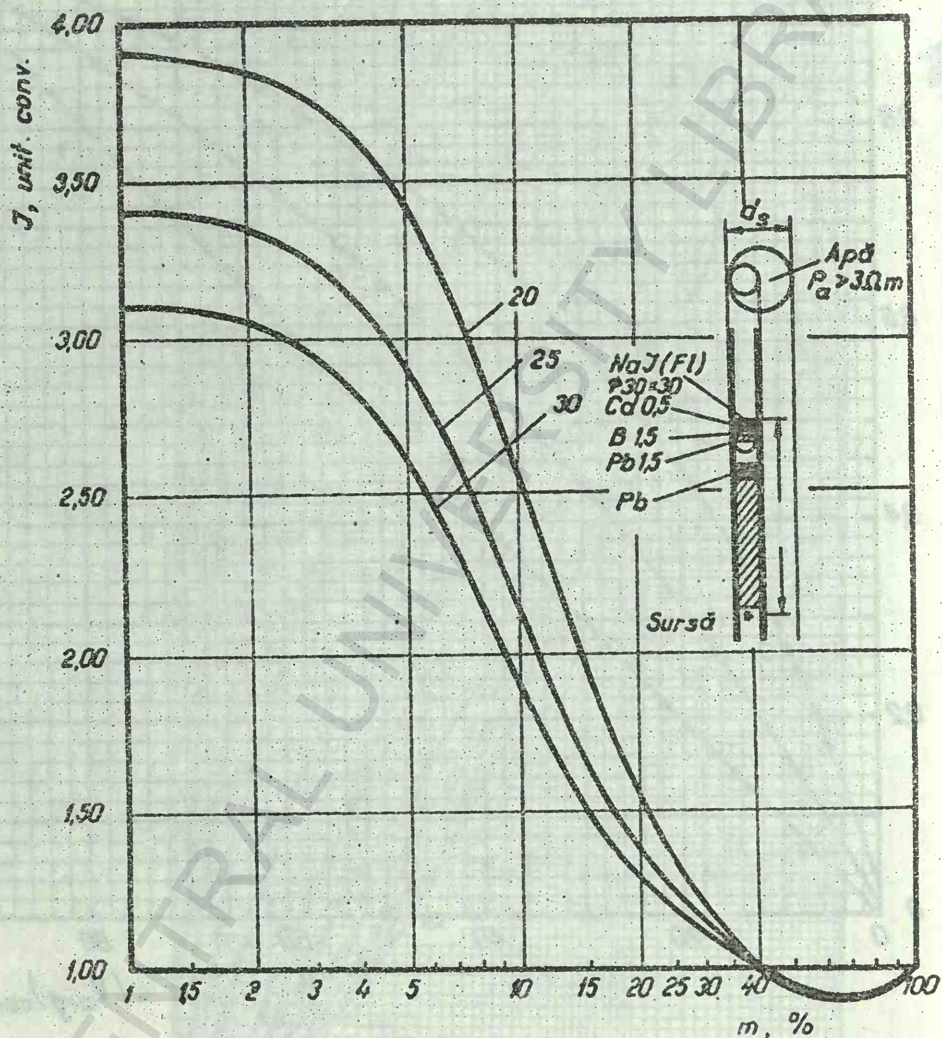
ABACA 31



Corecția volumului de argilă din curba gama în funcție de vîrsta geologică a formațiunilor (după Dresser Atlas Doc)

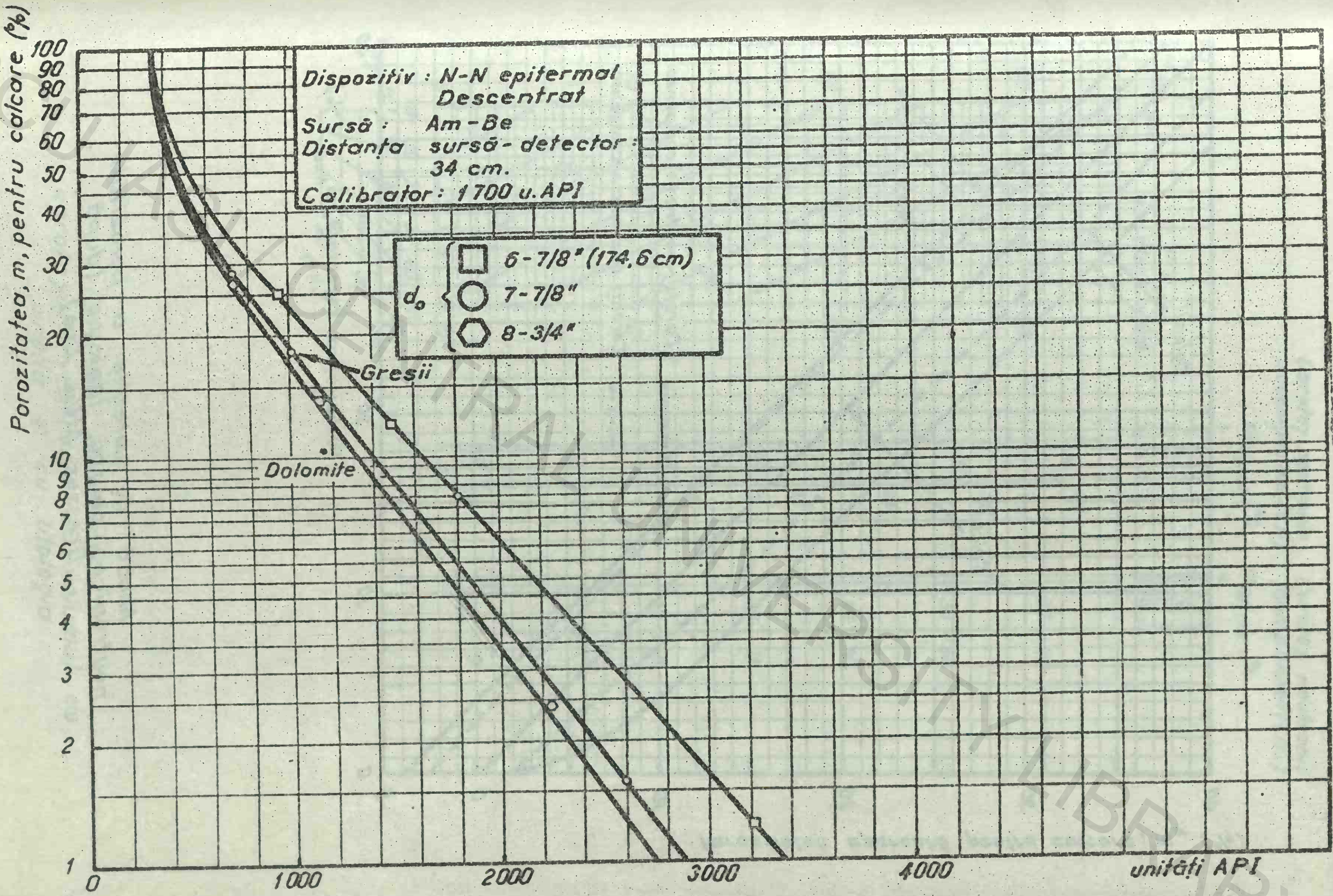
Curba nr. 3 - formațiuni terțiare
Curba nr. ? - formațiuni vechi

ABACA 32



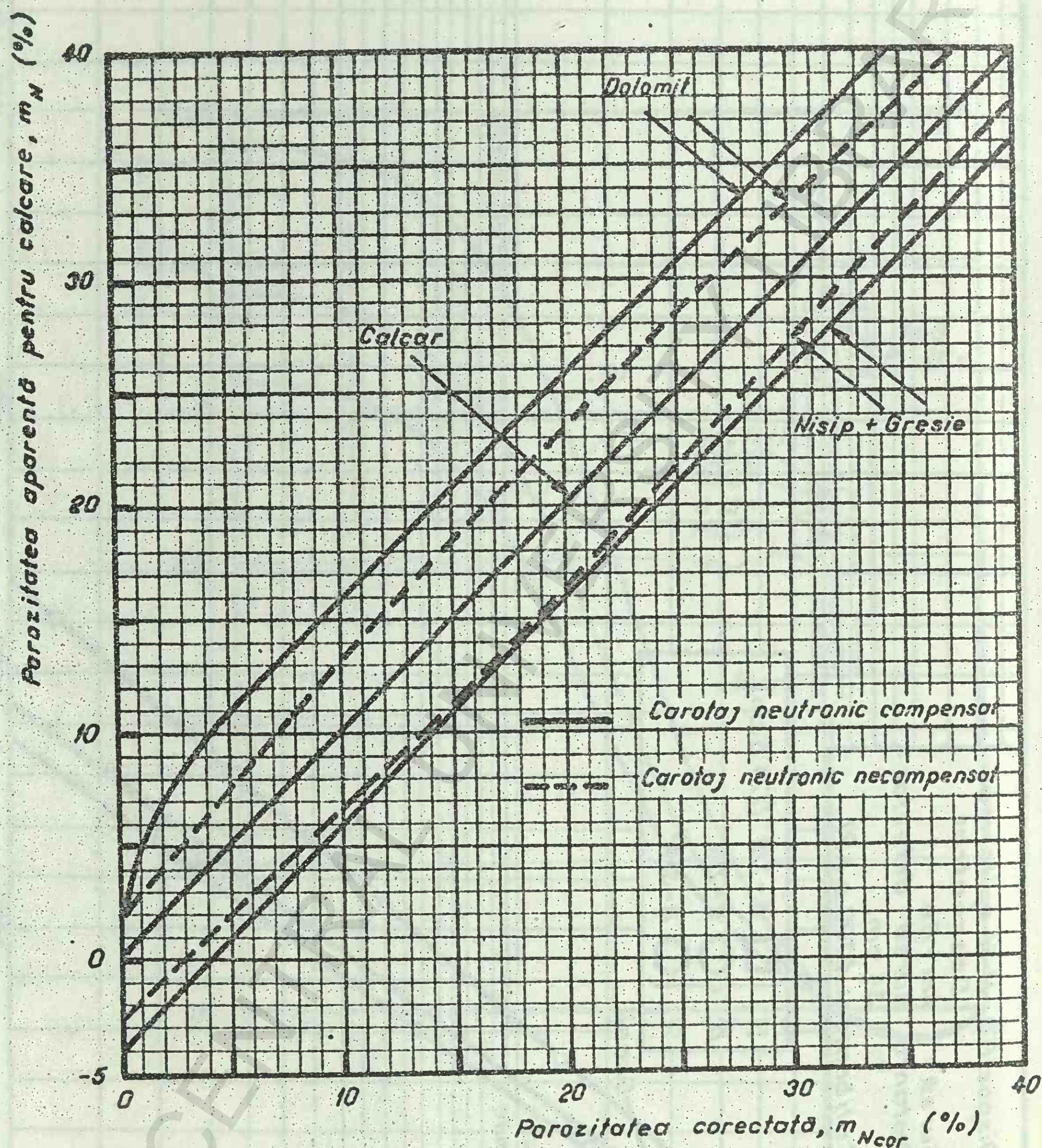
Abacă pentru determinarea porozității aparente pentru calcare, din carotajul neutron-gama (aparatură cu detector de scintilație de tip DRST)

ABACA 33



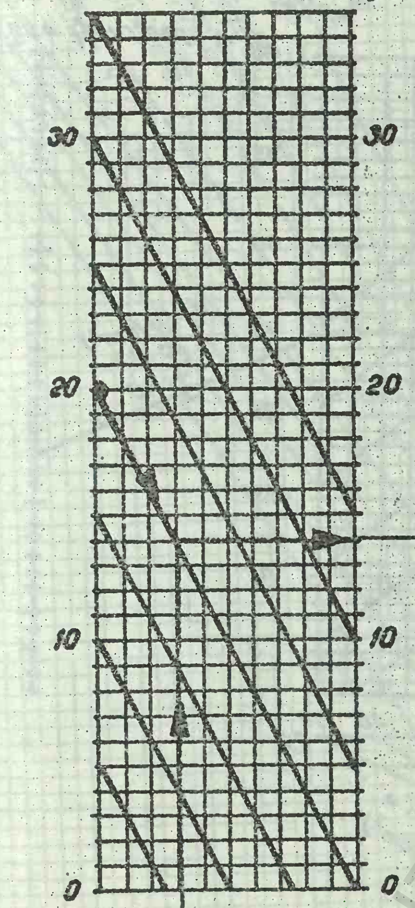
Dispozitiv : N-N epitermal
Descentrat
Sursă : Am-Be
Distanța sursă-detector :
34 cm.
Calibrator : 1700 u.API
6-7/8" (174,6 cm)
7-7/8"
8-3/4"
Gresii
Dolomite
Porozitatea, m, pentru calcare (%)
100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
0 1000 2000 3000 4000
unități API

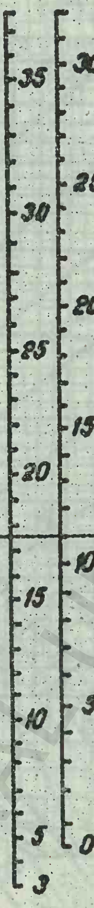
ABACA 34

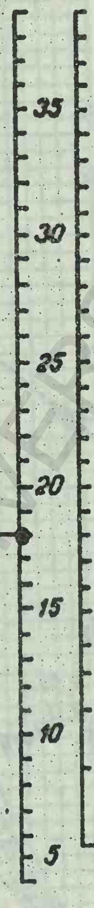


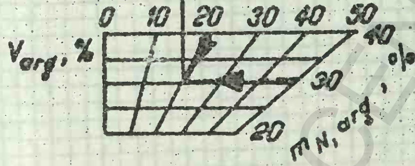
Abacă de corecție a porozității neutronice pentru litologie (după Dresser Atlas Doc)

ABACA 35



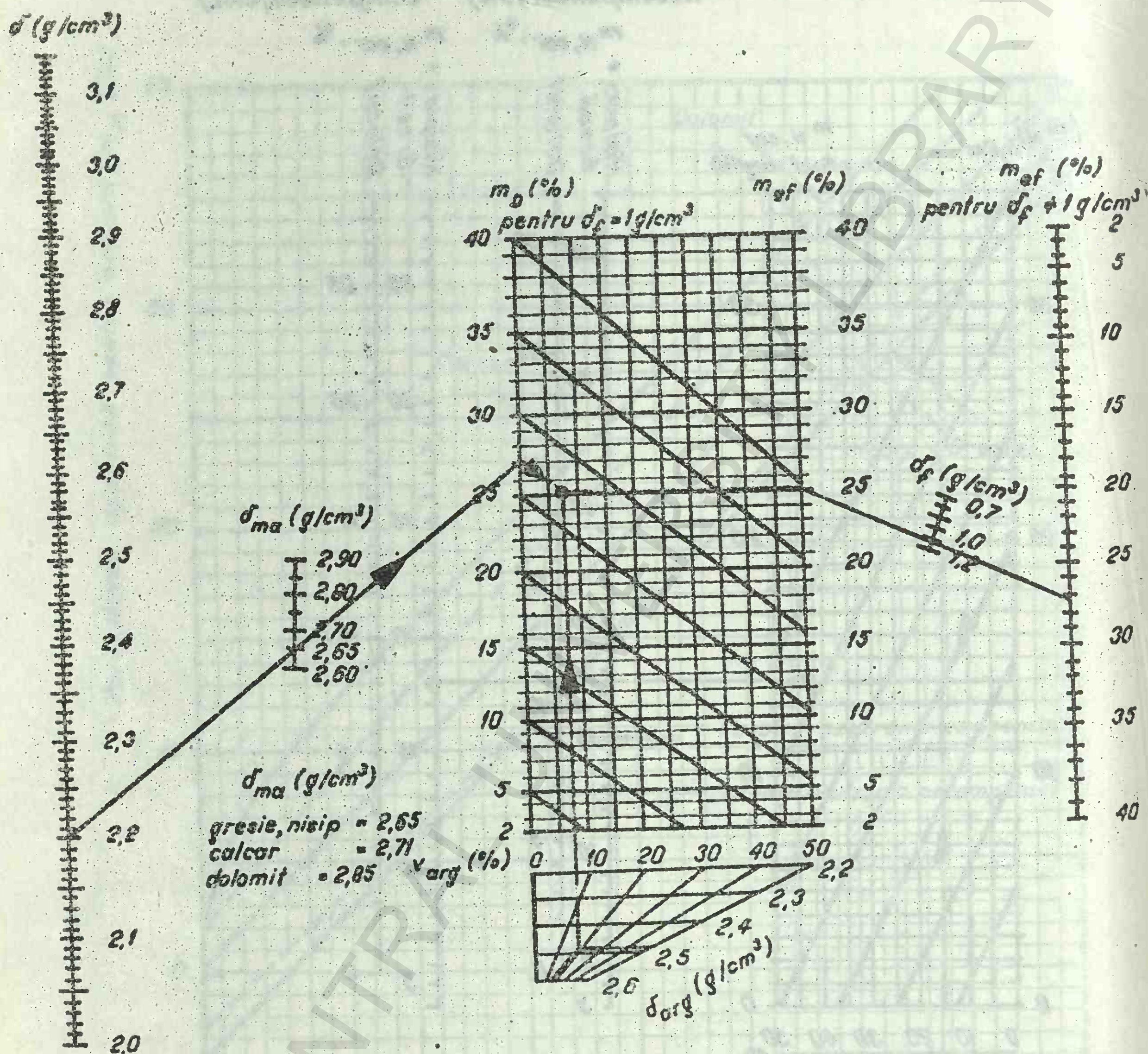






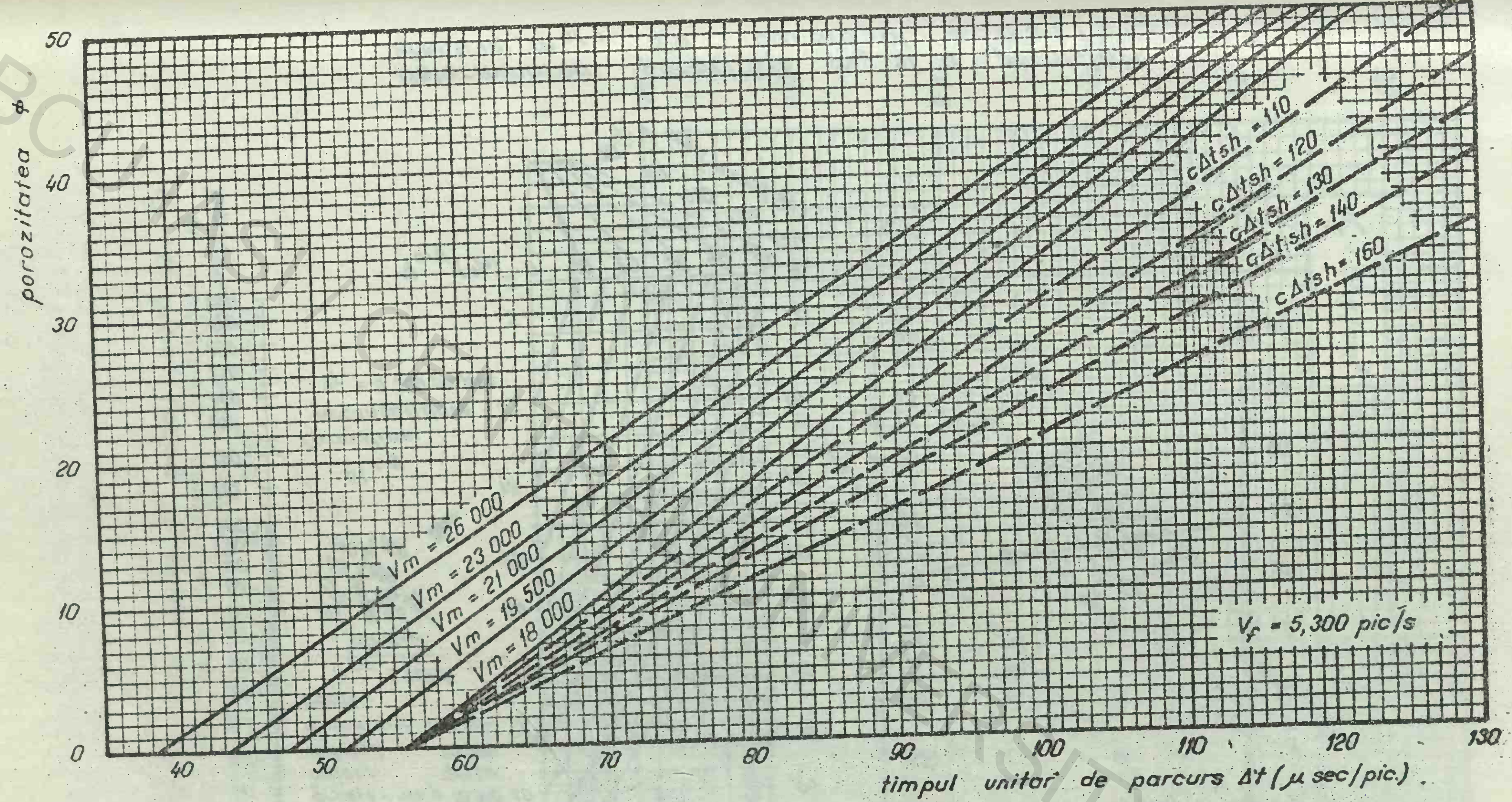
Corecția porozității din carotajul neutronic cu volumul de argilă și cu litologia

ABACA 36



Determinarea porozității, m_D, și a porozității efective, m_{ef}, din carotajul de densitate

ABACA 37



	Vm (pic/sec)	Δt (μsec/pic)
BRESII	18 000 - 21 000	55,6 - 47,6
CALCARE	21 000 - 23 000	47,6 - 43,5
DOLOMITE	23 000 - 26 000	43,5 - 38,5

Porozitatea din carotajul acustic

ABACA 38

Δt (μ sec/pic)

v_{ma} (pic/sec.):
gresie + nisip 18 000
calcar 21 000
dolomit 23 000
formațiuni consolidate:

$\frac{v_{ma}}{pic/sec.} \times 1000$

Δt_{arg}

Formațiuni neconsolidate v_f = 5 300 pic/sec

m_A (%)

m_{ef} (%)

V_{arg} (%)

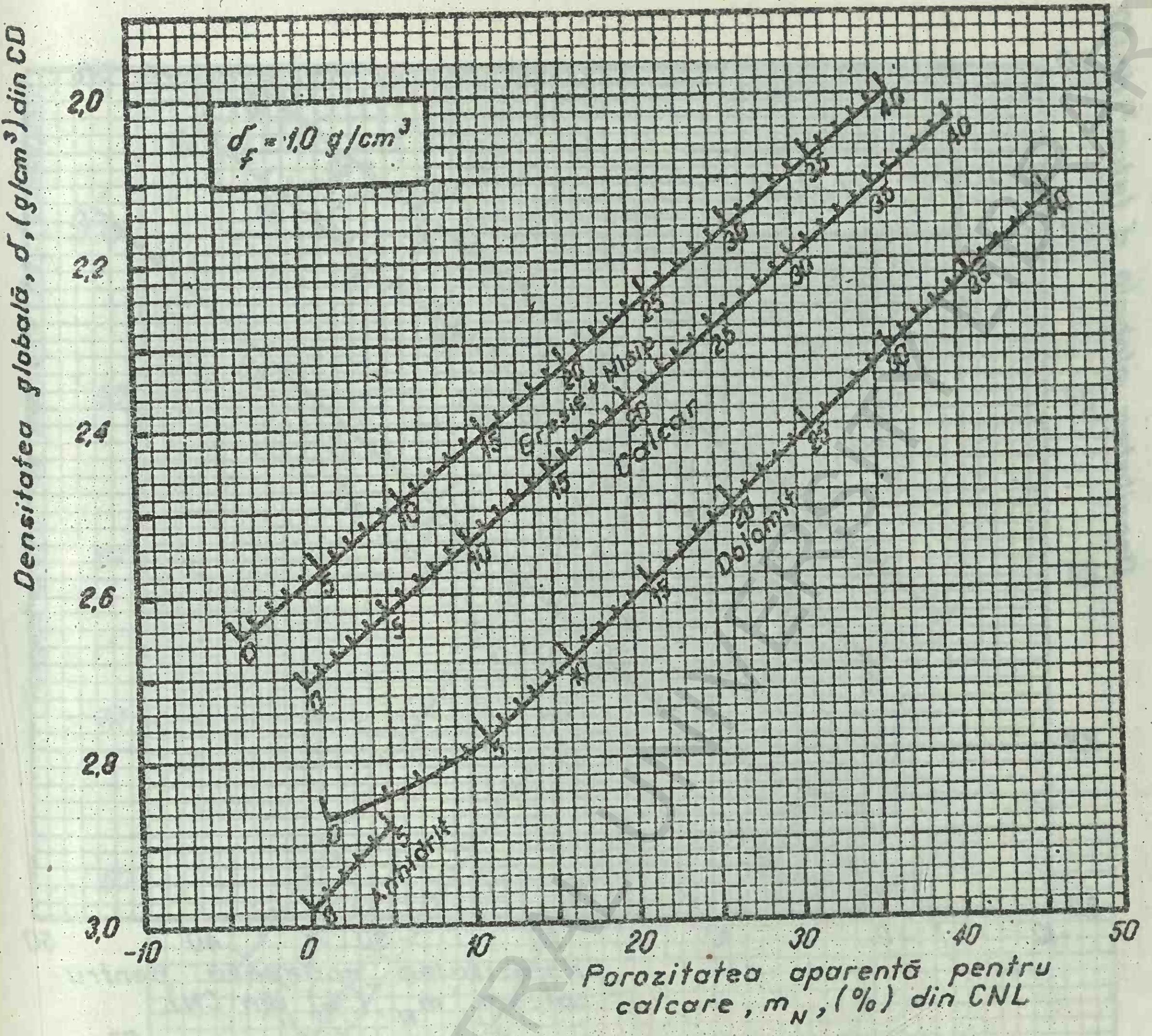
Δt_{arg} (μ sec./pic)

v_f (pic/sec)

m_{ef} (%) pentru $v_f \neq$ 5 300 pic/sec.

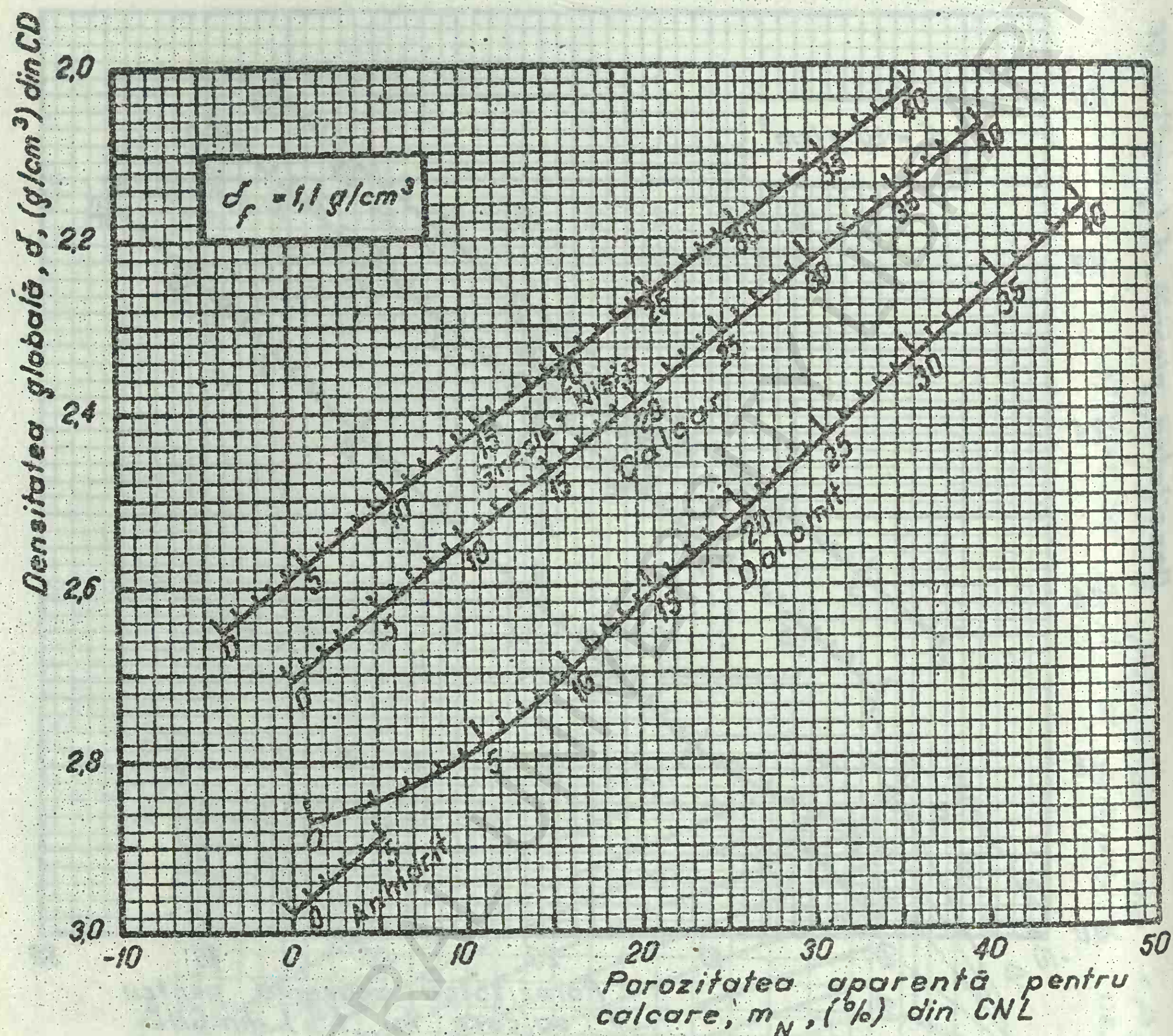
Determinarea porozității m_A și a porozității efective, m_{ef}, din carotajul acustic

ABACA 39



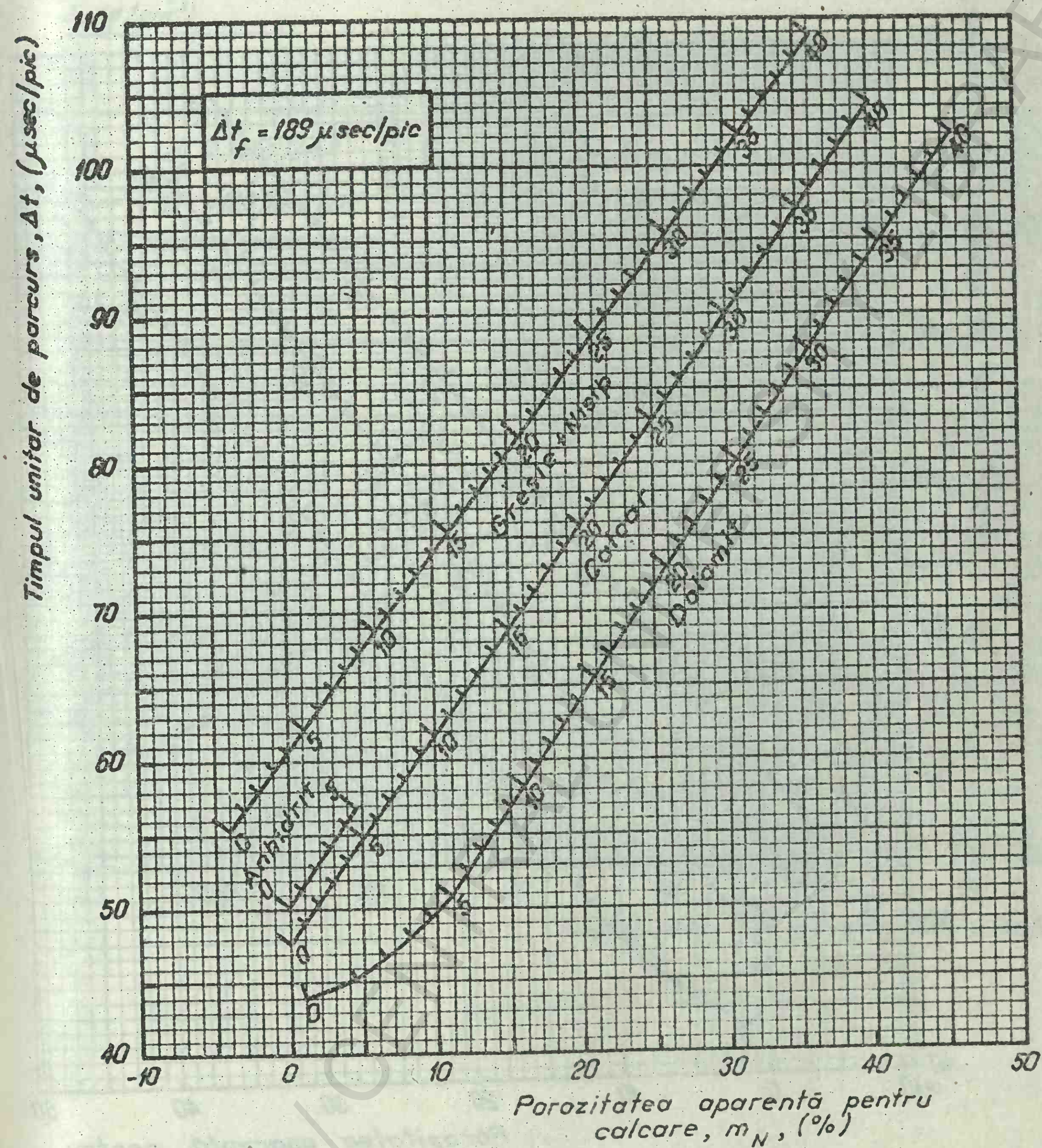
Grafic dual de determinarea porozității din carotajul de densitate (CD) și neutronic compensat (CNL) pentru δ_f = 1,0 g/cm³ (după Dresser Atlas Doc)

ABACA 40



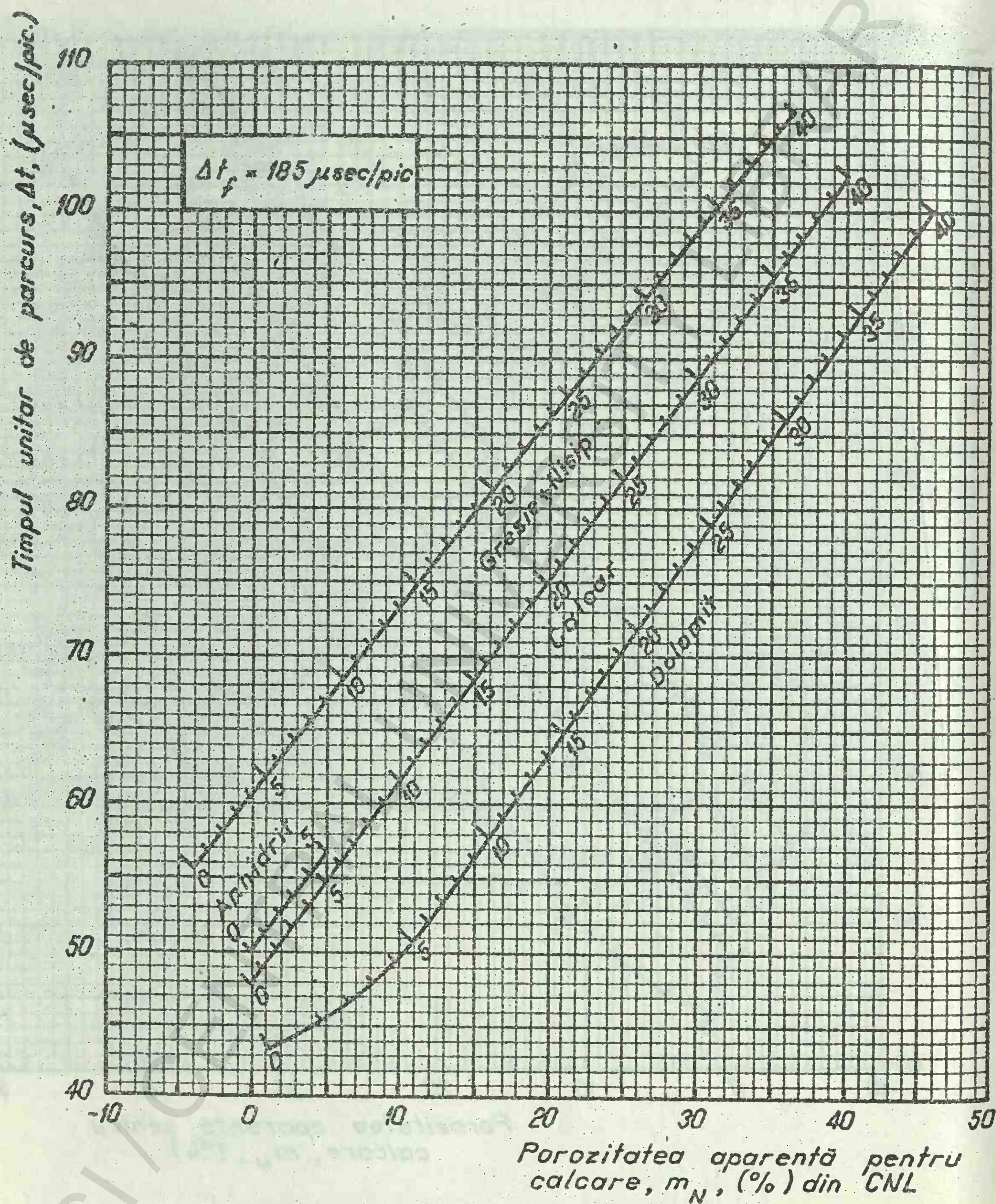
Grafic dual de determinarea porozității din carotajul de densitate (CD) și neutronic compensat (CNL) pentru δ_f = 1,1 g/cm³ (după Dresser Atlas Doc)

ABACA 41



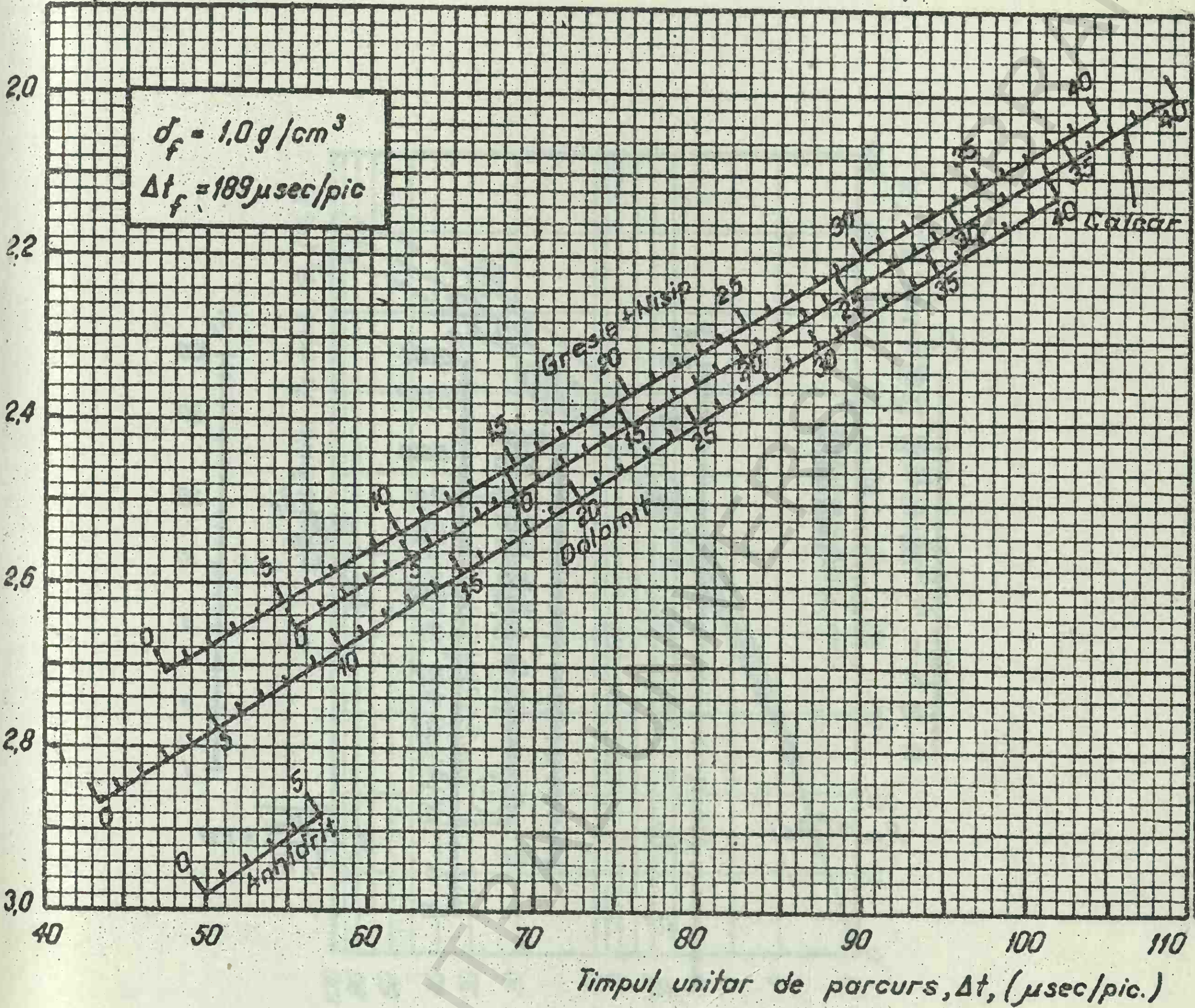
Grafic dual de determinarea porozităţii din carotajul acustic de viteză (CA) şi neutronic compensat (CNL) pentru Δt_f = 189 μsec/pic. (după Dresser Atlas Doc)

ABACA 42



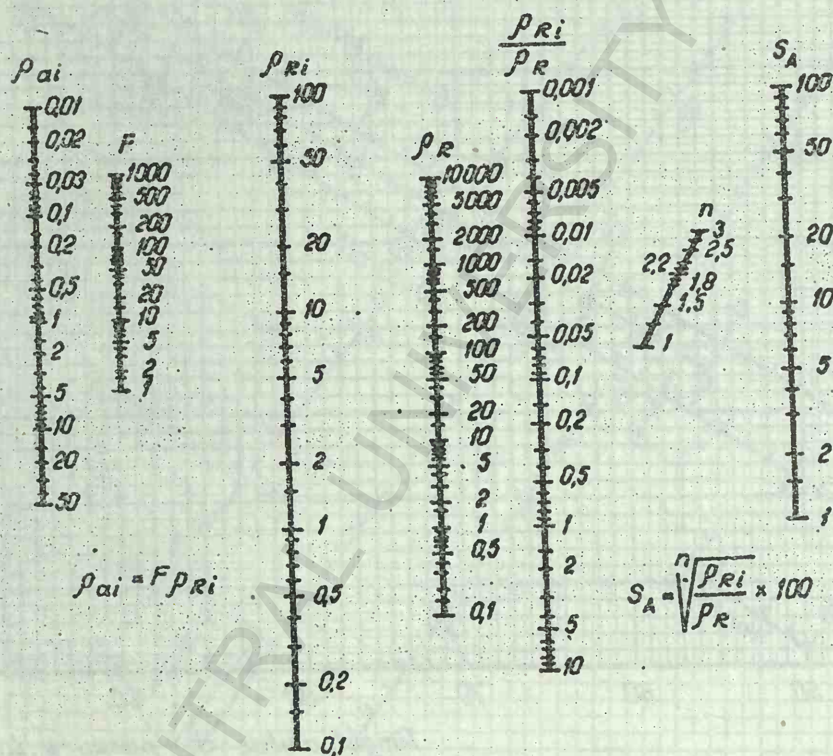
Grafic dual de determinarea porozității din carotajul acustic de viteză (CA) și neutronic compensat (CNL) pentru Δt_f = 185 μsec/pic. (după Dresser Atlas Doc)

ABACA 43



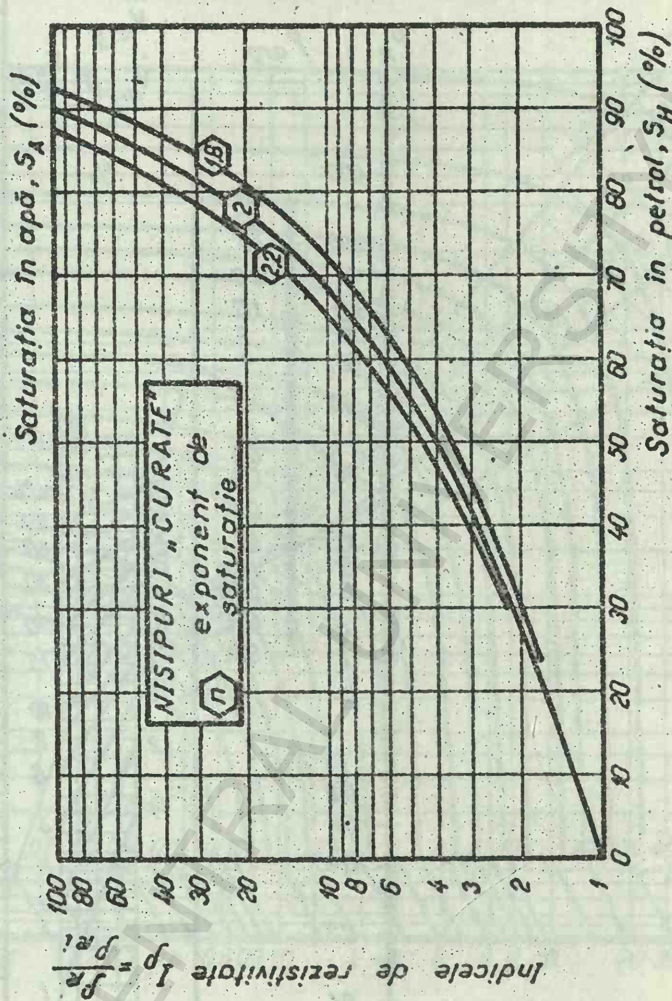
Grafic dual de determinarea porozității din carotajul de densitate (CD) și carotajul acustic de viteză (CA)-(după Dresser Atlas Doc)

NOMOGRAMA 44



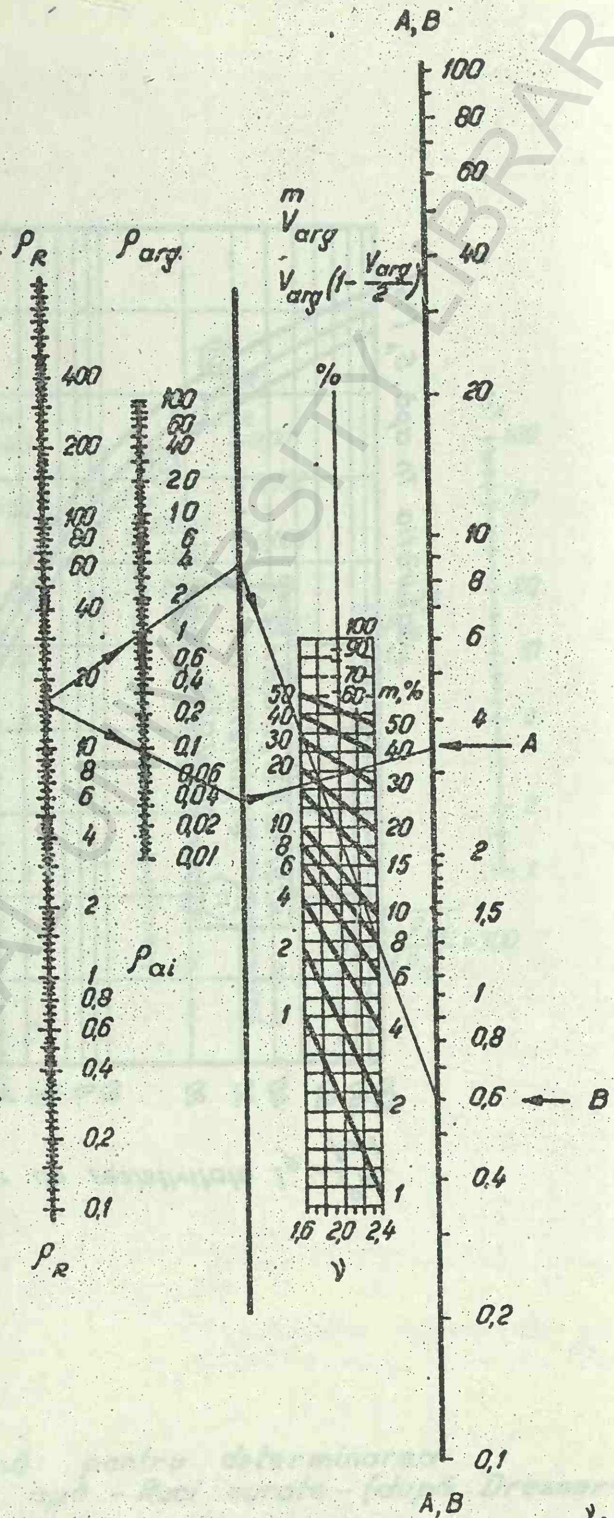
Nomogramă pentru determinarea conținutului în apă - Roci curate - (după Dresser-Atlas)

ABACA 45



Saturatia în apă, S_A (%)
Saturatia în petrol, S_H (%)
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
NISIPURI „CURATE"
exponent de saturatie
n
1,8
2
2,2
100 80 60 40 30 20 10 8 6 4 3 2 1
Indicele de rezistivitate $I_\rho = \frac{\rho_R}{\rho_i}$

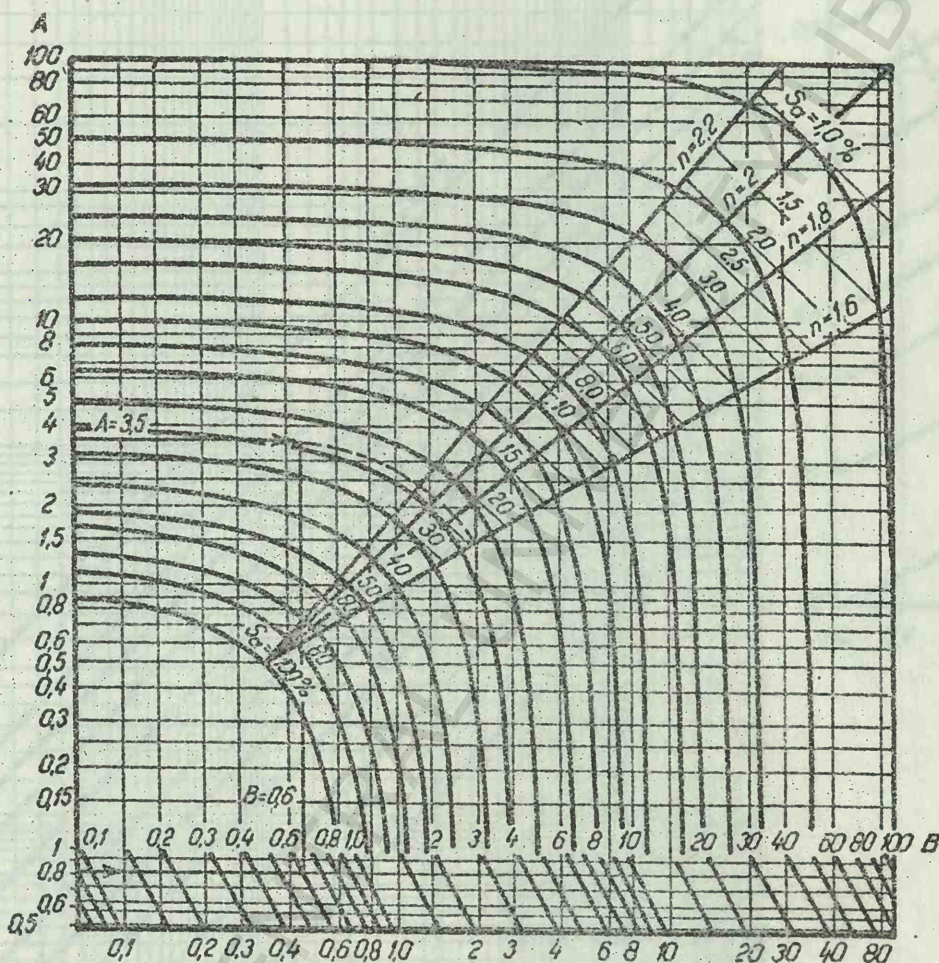
NOMOGRAMA 46 a.



Nomogramă pentru determinarea rapoartelor $A = m^{\frac{\nu}{2}}\sqrt{\frac{\rho_R}{\rho_{ai}}}$ și $B = V_{arg}\sqrt{\frac{\rho_R}{\rho_{arg}}}$

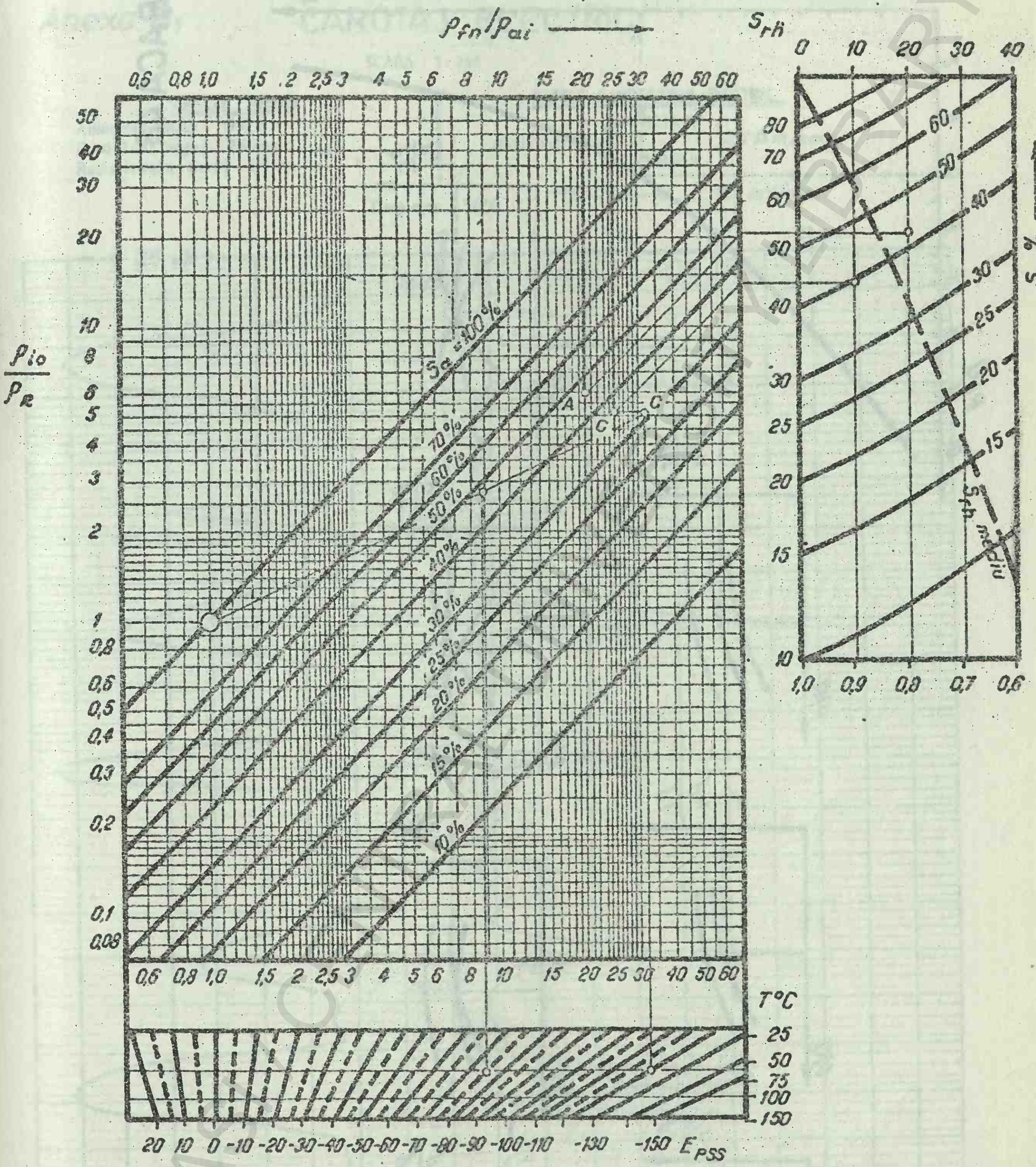
(după Campbell și col.)

ABACA 46b.



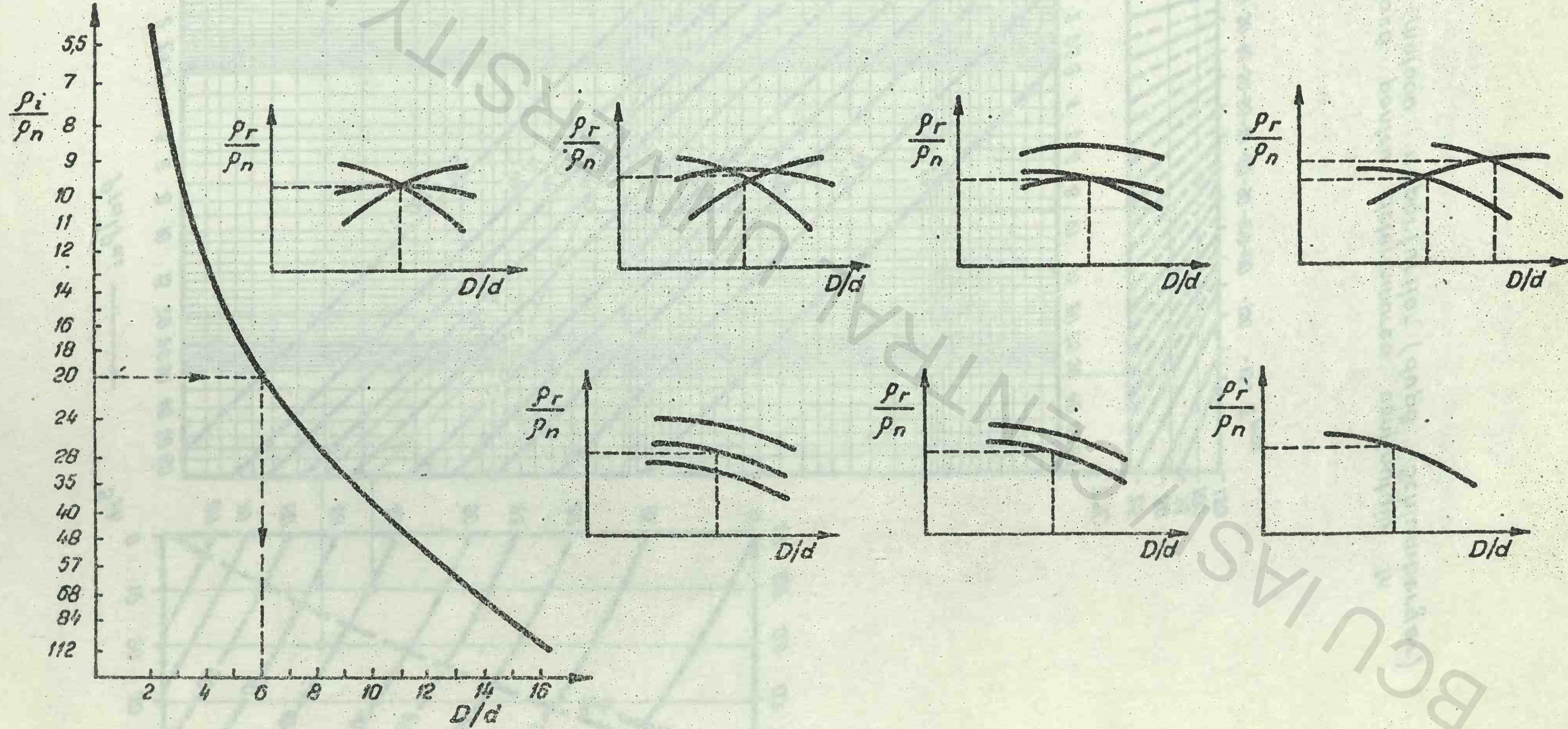
Determinarea coeficientului de saturație în apă în formațiuni cu conținut mare de material argilos ($V_{arg.}$ ≅ 40 %) prin relația Poupon-Leveaux (după Campbell și col.)

ABACA 47



Abacă pentru determinarea conținutului în apă prin metoda raporturilor (după Schlumberger)

ABACA 48



$\frac{\rho_i}{\rho_n}$
5,5
7
8
9
10
11
12
14
16
18
20
24
28
35
40
48
57
68
84
112
2
4
6
8
10
12
14
16
D/d
$\frac{\rho_r}{\rho_n}$
D/d
$\frac{\rho_r}{\rho_n}$
D/d
$\frac{\rho_r}{\rho_n}$
D/d
$\frac{\rho_r}{\rho_n}$
D/d
$\frac{\rho_r}{\rho_n}$
D/d
$\frac{\rho_r}{\rho_n}$
D/d
$\frac{\rho_r}{\rho_n}$
D/d

Anexa B₁

CAROTAJ ELECTRIC

SCARA 1: 200

DATELE SONDEI

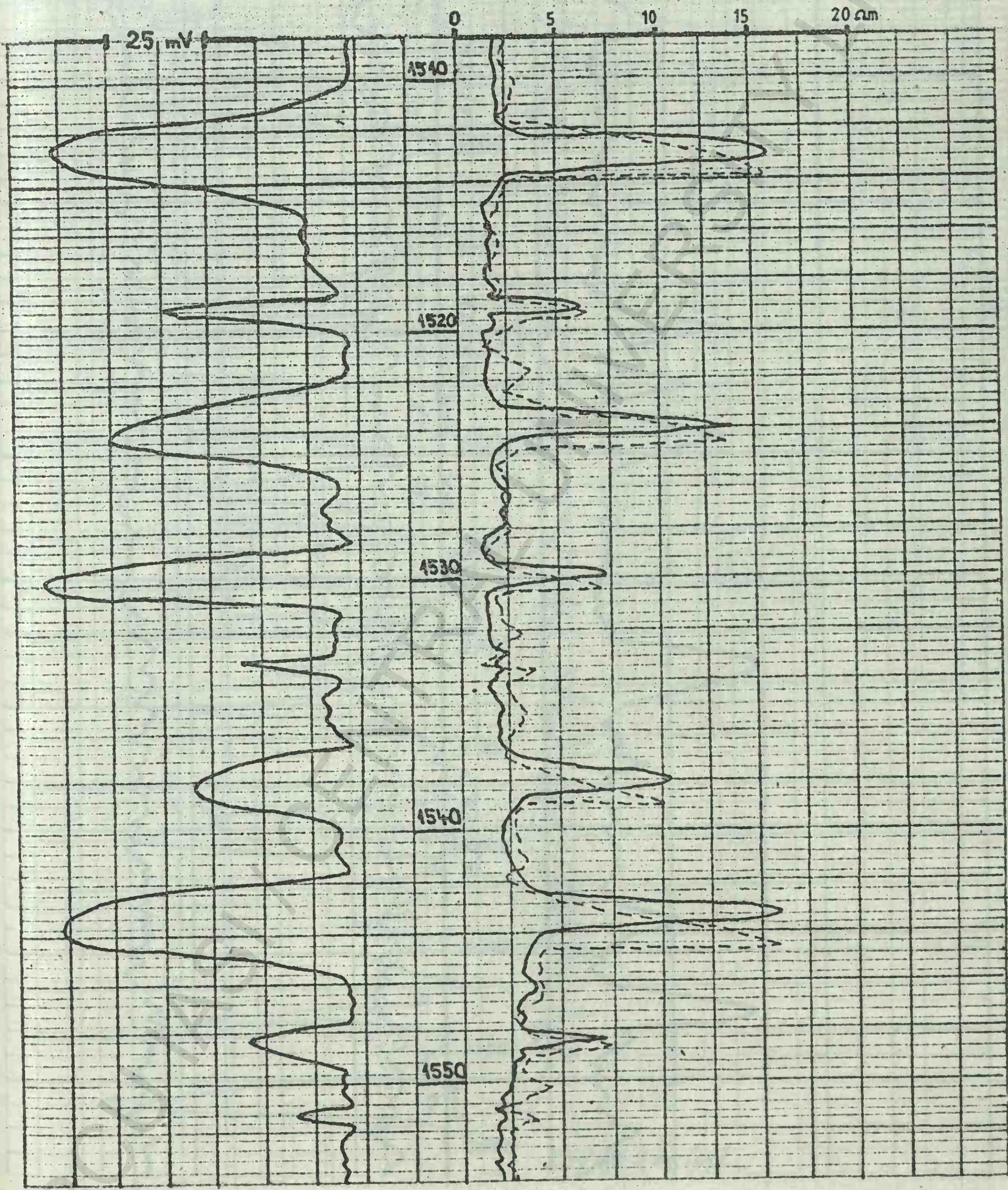
Adincimea finala 1910 m
Diametrul sapei 254 mm
Rezistivitate noroi 1,8 Ωm

DATELE CAROTAJULUI ELECTRIC

Rezistivitatea { —— M03A2B / ----- B03A2M } 2,5 Ωm /cm

P.S. − ⊢——⊣ + 12,5 mV/cm

Temp. max. : 56°C



Anexa B_2 CAROTAJ ELECTRIC SPECIAL

SCARA 1:200

POTENTIAL SPONTAN	ADINCIMEA	REZISTIVITATE	
mV			Ωm
10mV		Curba normala de 16" A-16"M-68"8N-∞B Curba potentiala de 64" A-64"M-64'8"N-∞B	Curba gradientă de 18" A-26"B-16'11"M-50'1"N
	2753,5 2803,5 2853,5 2903,5		

Anexa B_3

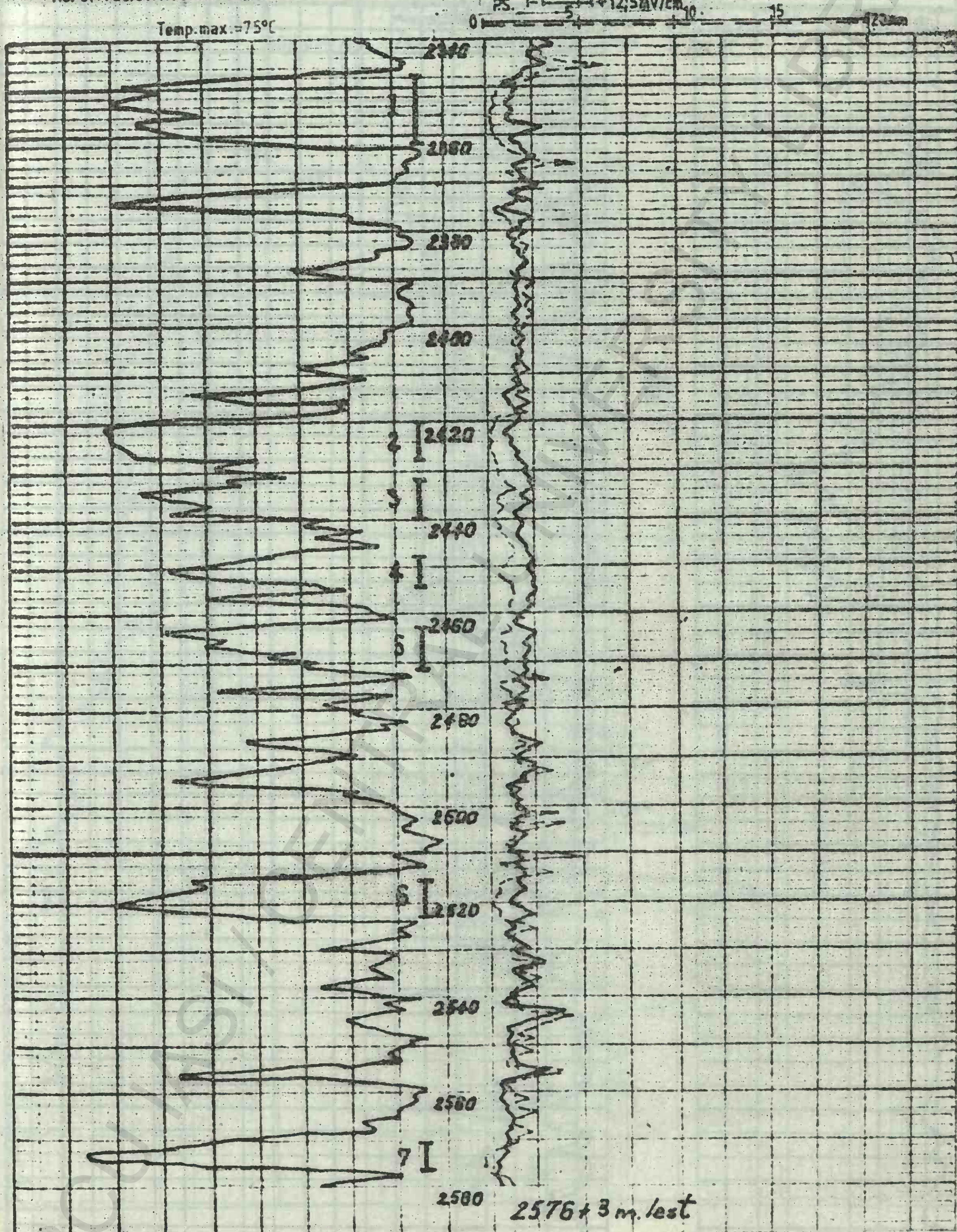
SONDA X STRUCTURA C
CAROTAJ ELECTRIC

DATELE SONDEI

Adincimea finala 2579 m.
Diametrul sapei 311,2 mm
Noroi: rezistivitatea 2 Ωm
Temp. max. = 75°C

DATELE CAROTAJULUI ELECTRIC

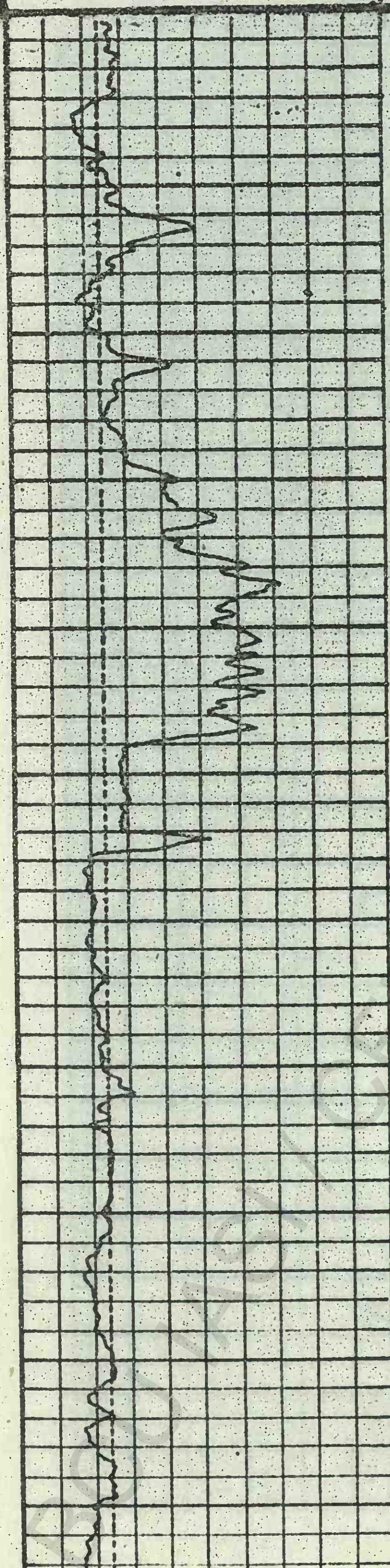
Scara adincimilor 1:1000
Rezistivitatea { —— M0.3A2B ; - - - - B0.3A2M
PS. 12,5 mV/cm



Anexa B4

MICROCAROTAJ

CAVERNOGRAMA	ADINCIMEA	REZISTIVITATEA Ωm	
Diametrul găurii de sondă în toli 6 7 8 9 10 11 12 13 14	SCARA 1: 200	0 Microinversa de 1"x1" 20 0 Micropotențială de 2" 20	
Φ 187 mm.			



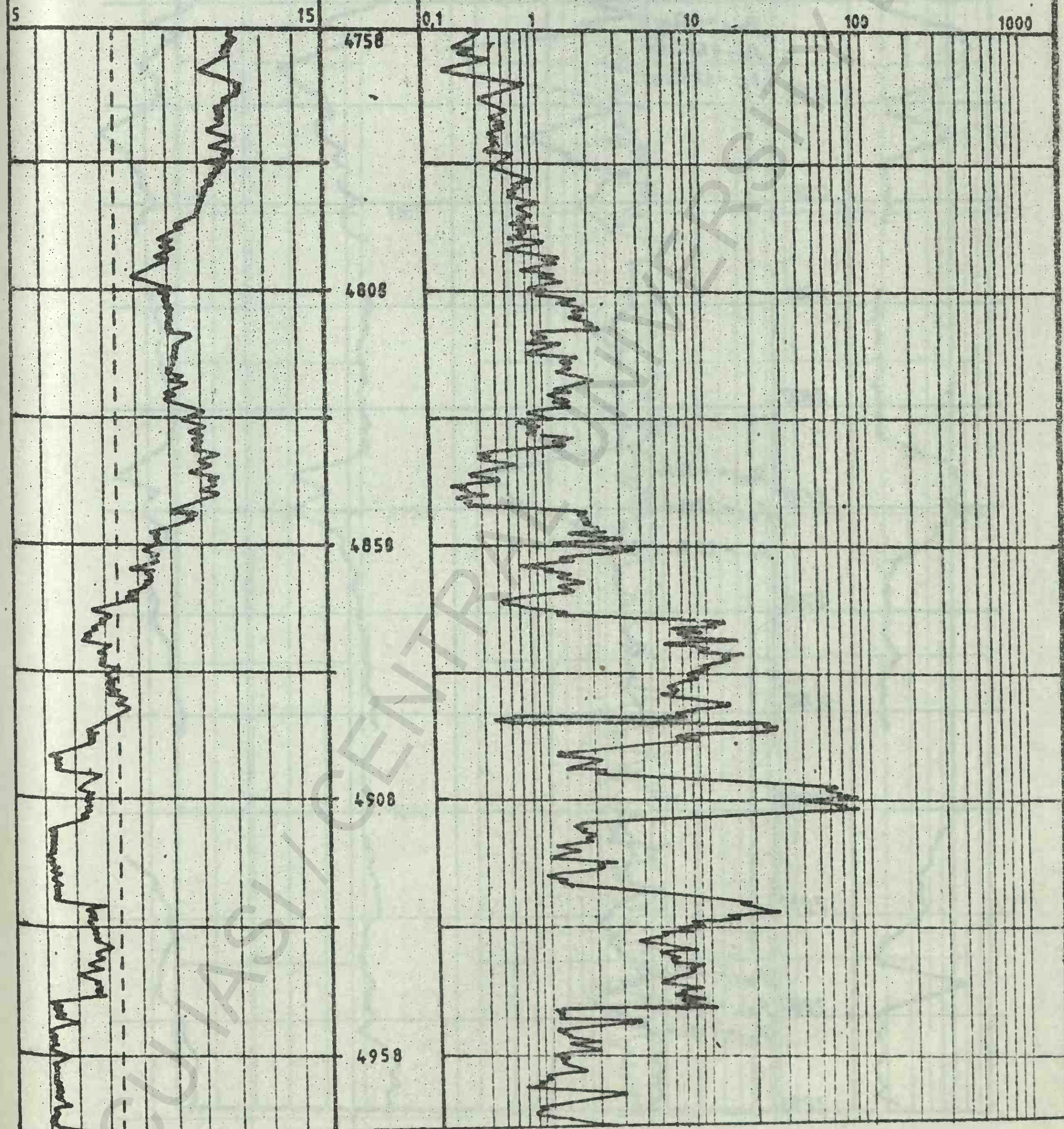
3300

Anexa B_5

MICROLATEROLOG

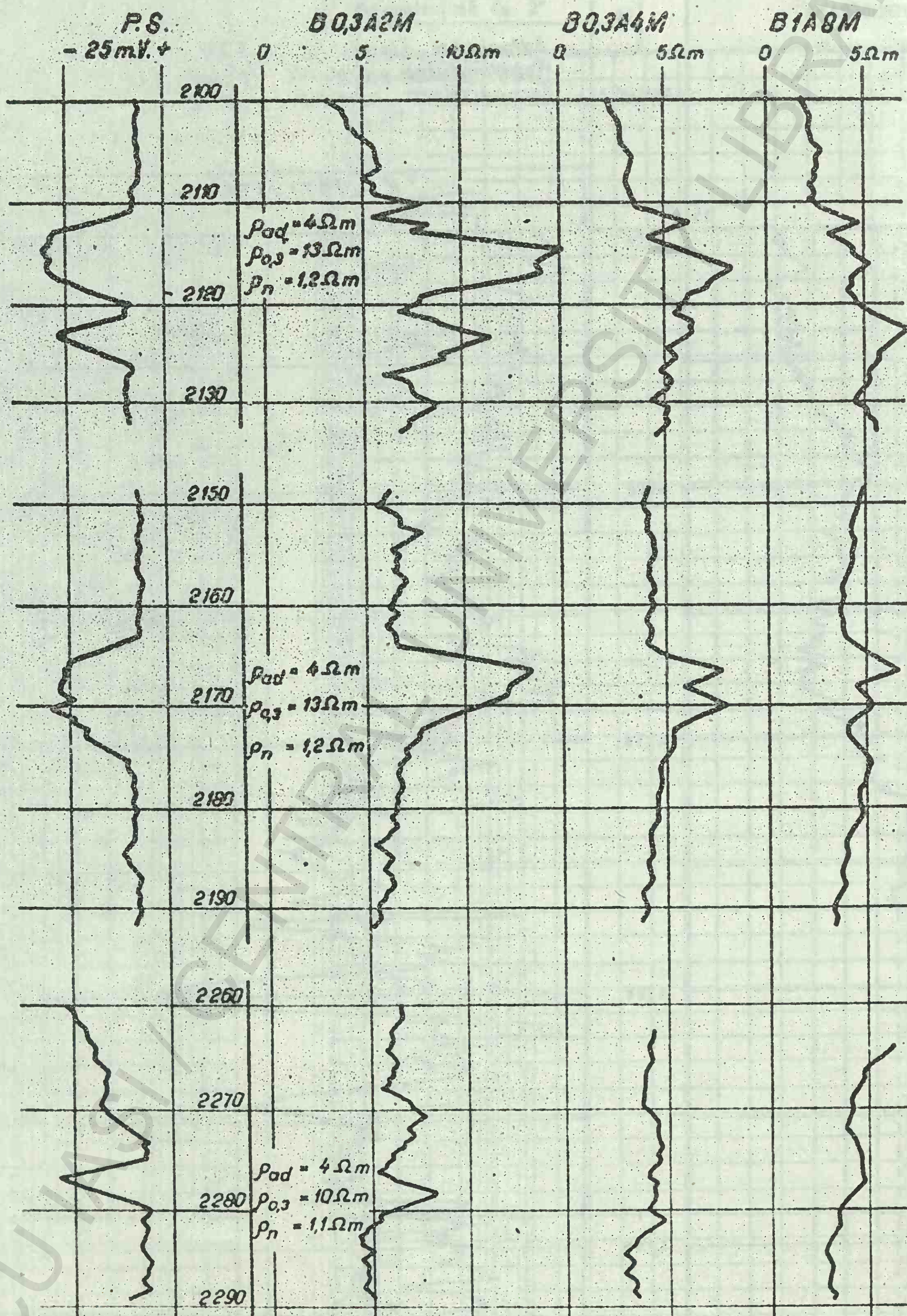
SCARA 1:1000

CAVERNOGRAMA	ADINCIMEA	
		Adîncimea Finală 5 037 m *Rezistivitatea noroiului* $(\rho_n)_{20°C}$ = 1,1 *Temperatura maximă* 152°C
		REZISTIVITATEA



Anexa B6

ϕ_s = 250 mm
Scara 1:300



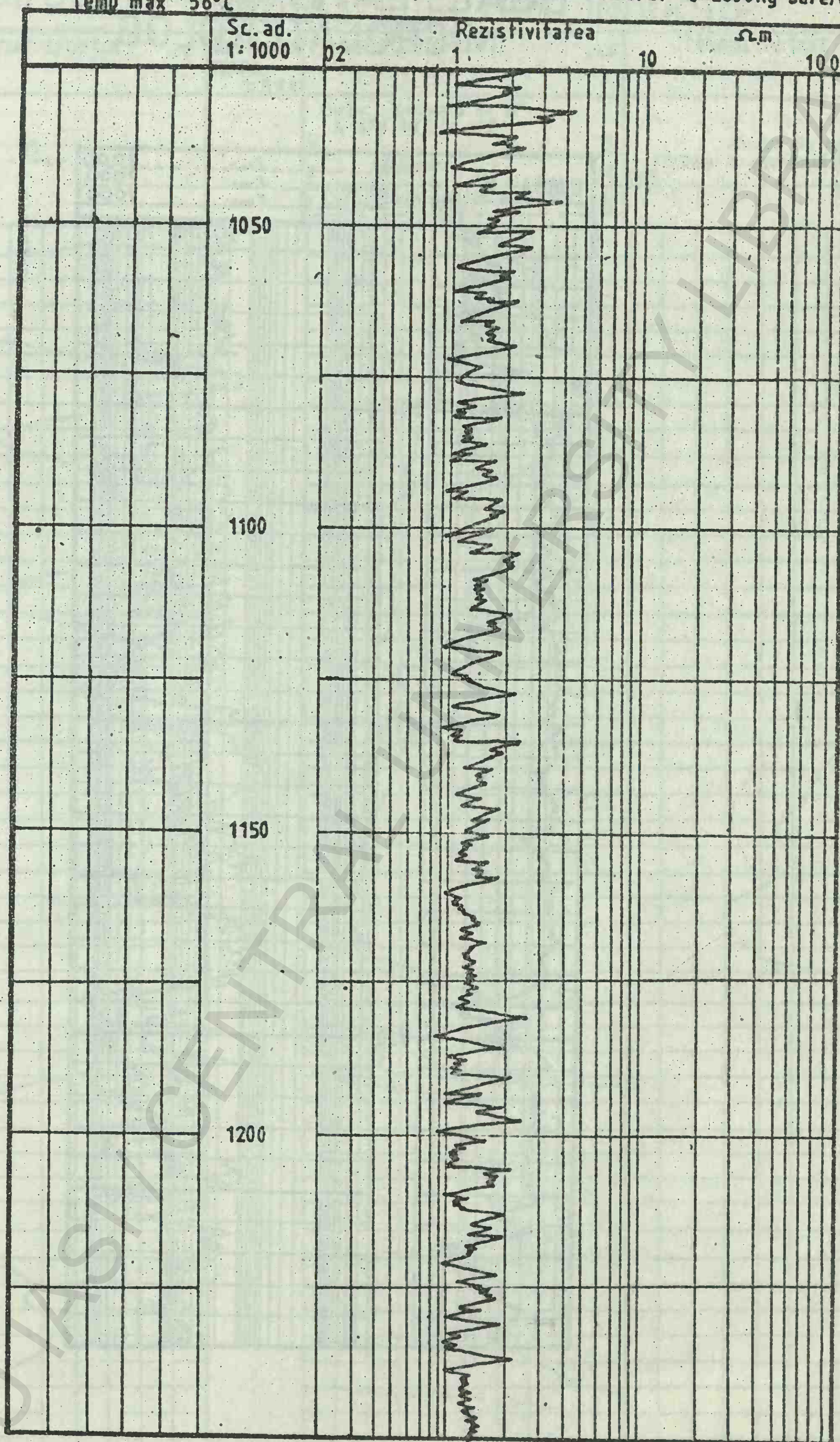
Anexa B7

CAROTAJ ELECTRIC FOCALIZAT

Ad finală 1275m
Diam sapei 311mm
Temp max 56°C

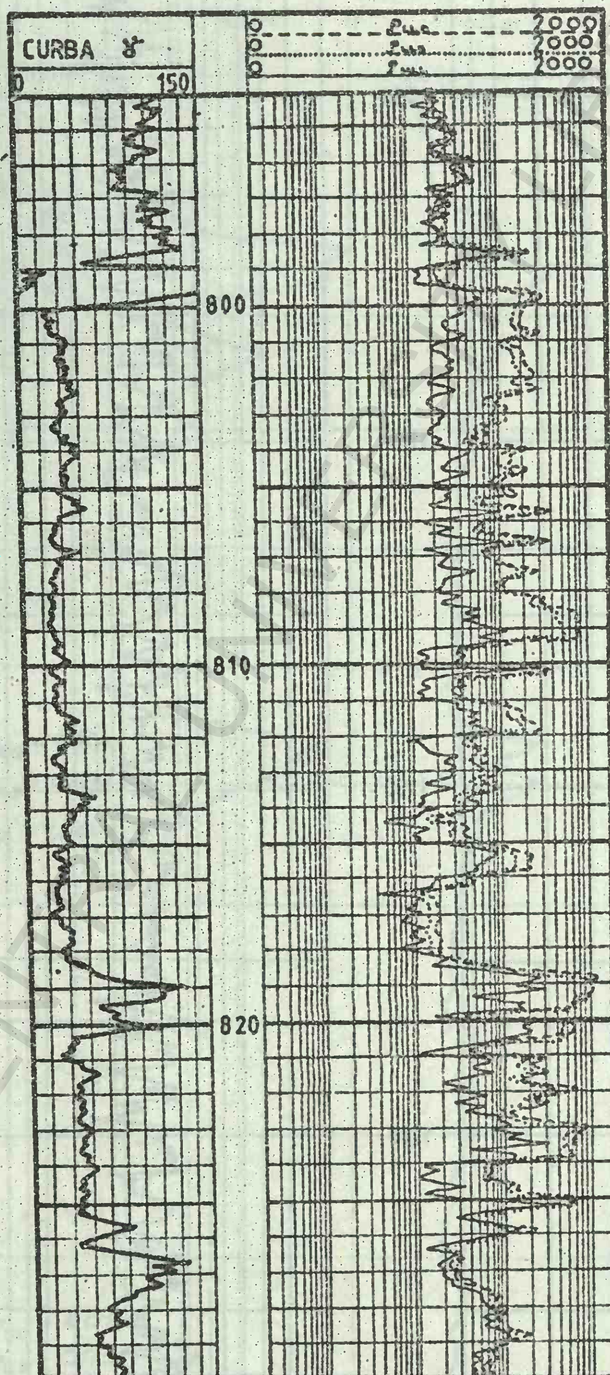
(LATEROLOG 3)

Tipul fluidului-noroi sărat c=2600kg sare/vag.



Anexa B_8

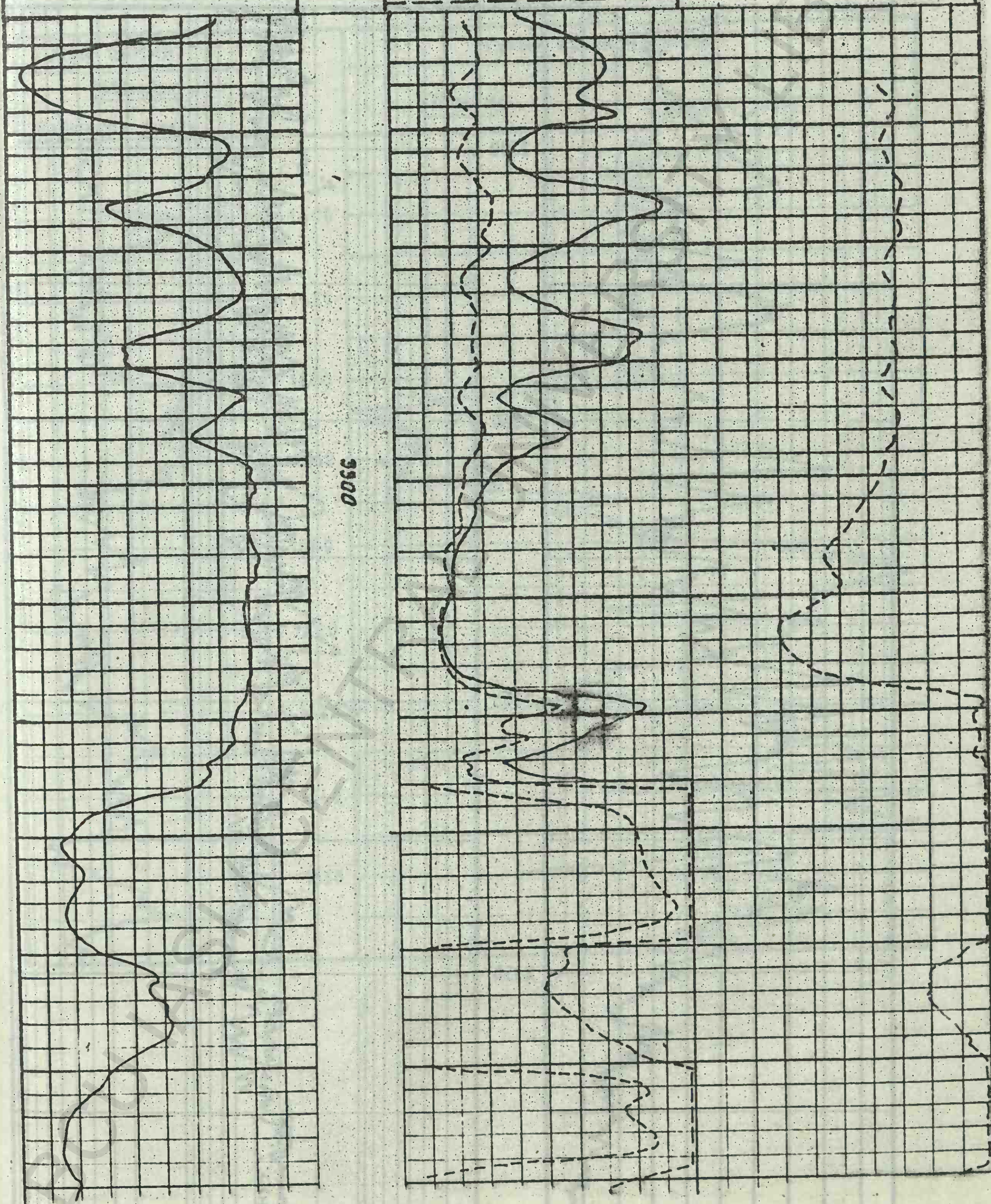
DUAL LATEROLOG + MICROLATEROLOG



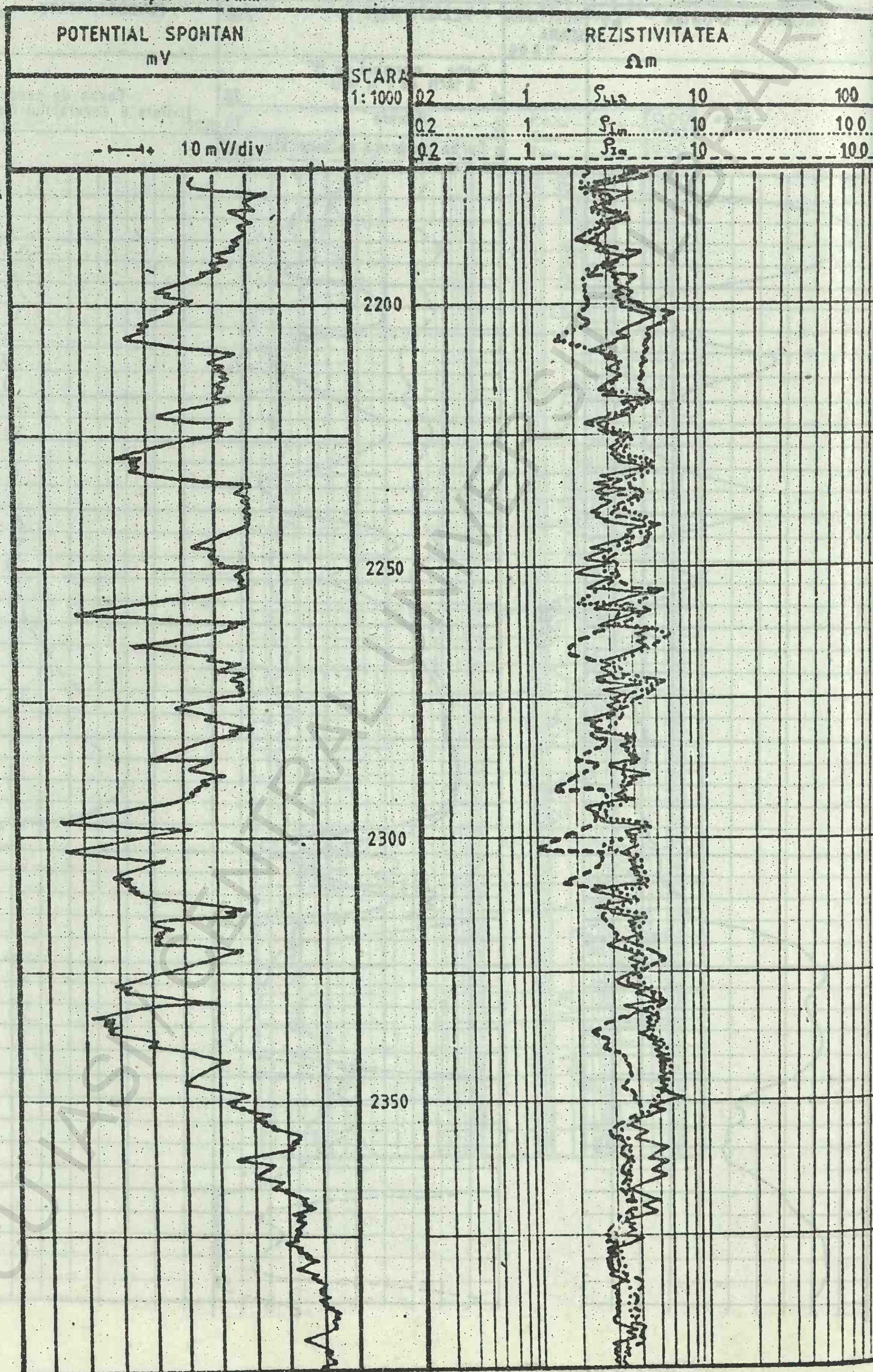
Anexa B9

CAROTAJ ELECTRIC INDUCȚIE

POTENTIAL SPONTAN mV	ADINCIMEA SCARA 1:200	REZISTIVITATE Ωm	CONDUCTIVITATE milimho/m
10		Curba normală de 16" A 16"M 68'8"N ∞B 0 … 20	Curba de conductivitate a carotajului inductiv 1000 … 0
		Reluare 0 … 20	
		Curba reciprocă de inducție 0 … 20	

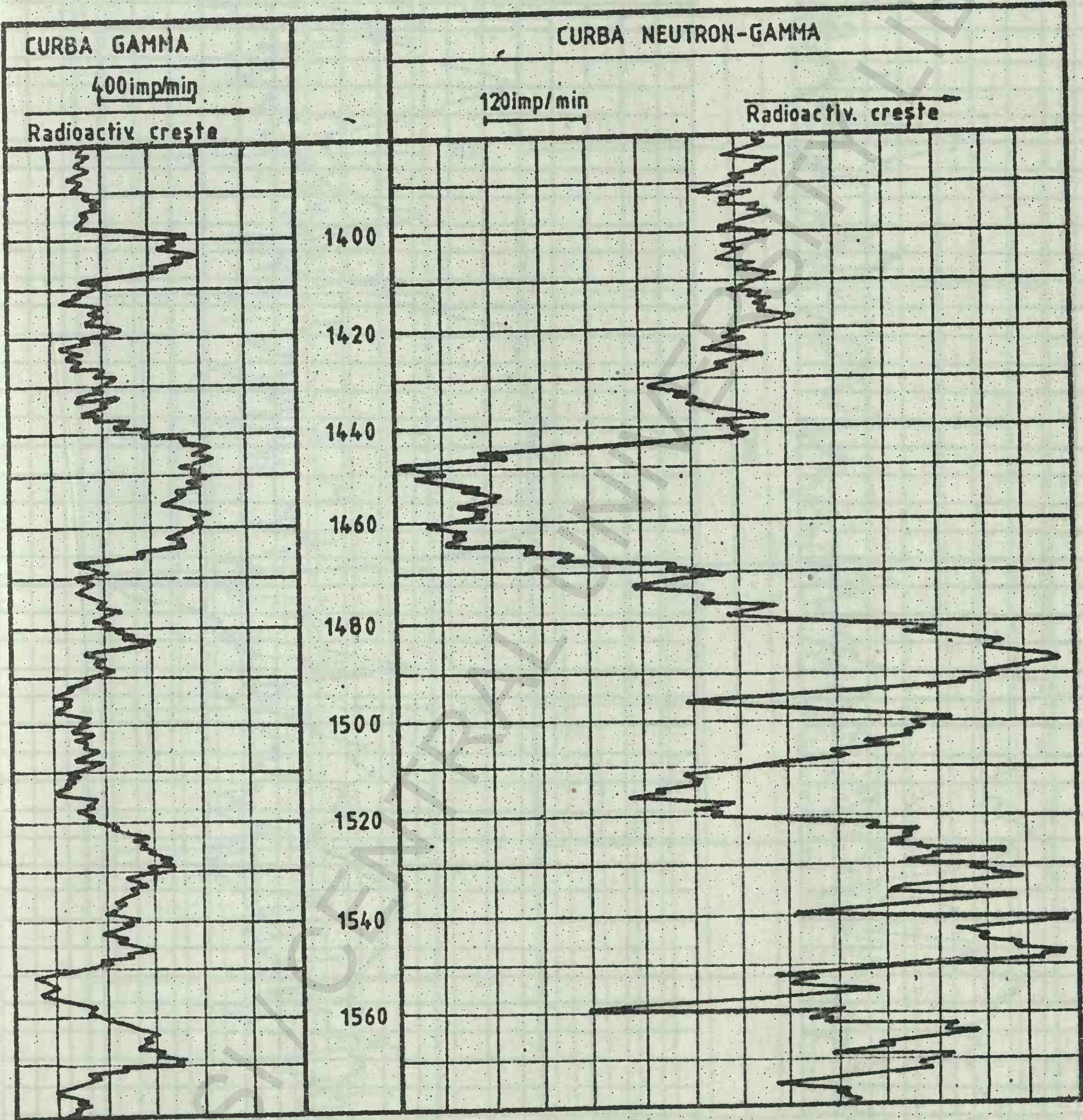


DUAL- INDUCTIE-LATEROLOG *Anexa B_{10}*



Anexa B_{11}

CAROTAJ NEUTRON GAMMA

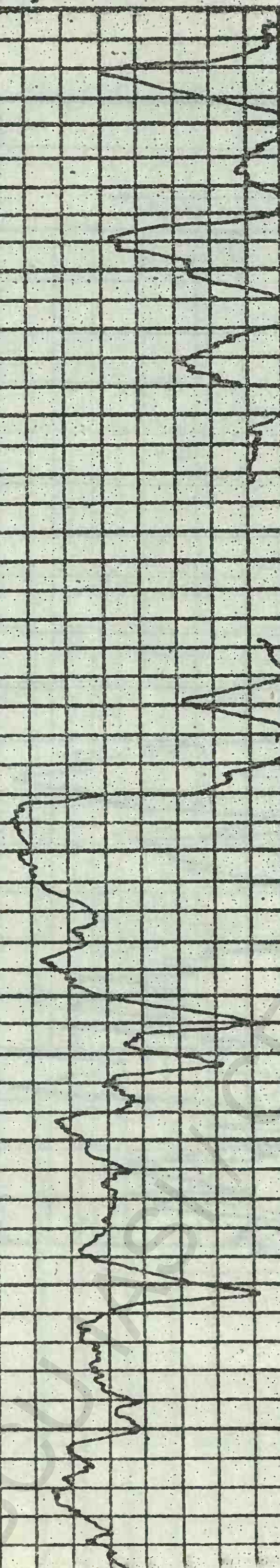


Anexa B_{12}

CAROTAJ RADIOACTIV

CAROTAJ GAMMA Radioactivitatea creşte Unităţi gamma API de radiaţie	ADINCIMEA SCARA 1:200	CAROTAJ NEUTRONIC Unităţi neutronice API 0 Raluare 1000 / 2000 — 2000 / 4000





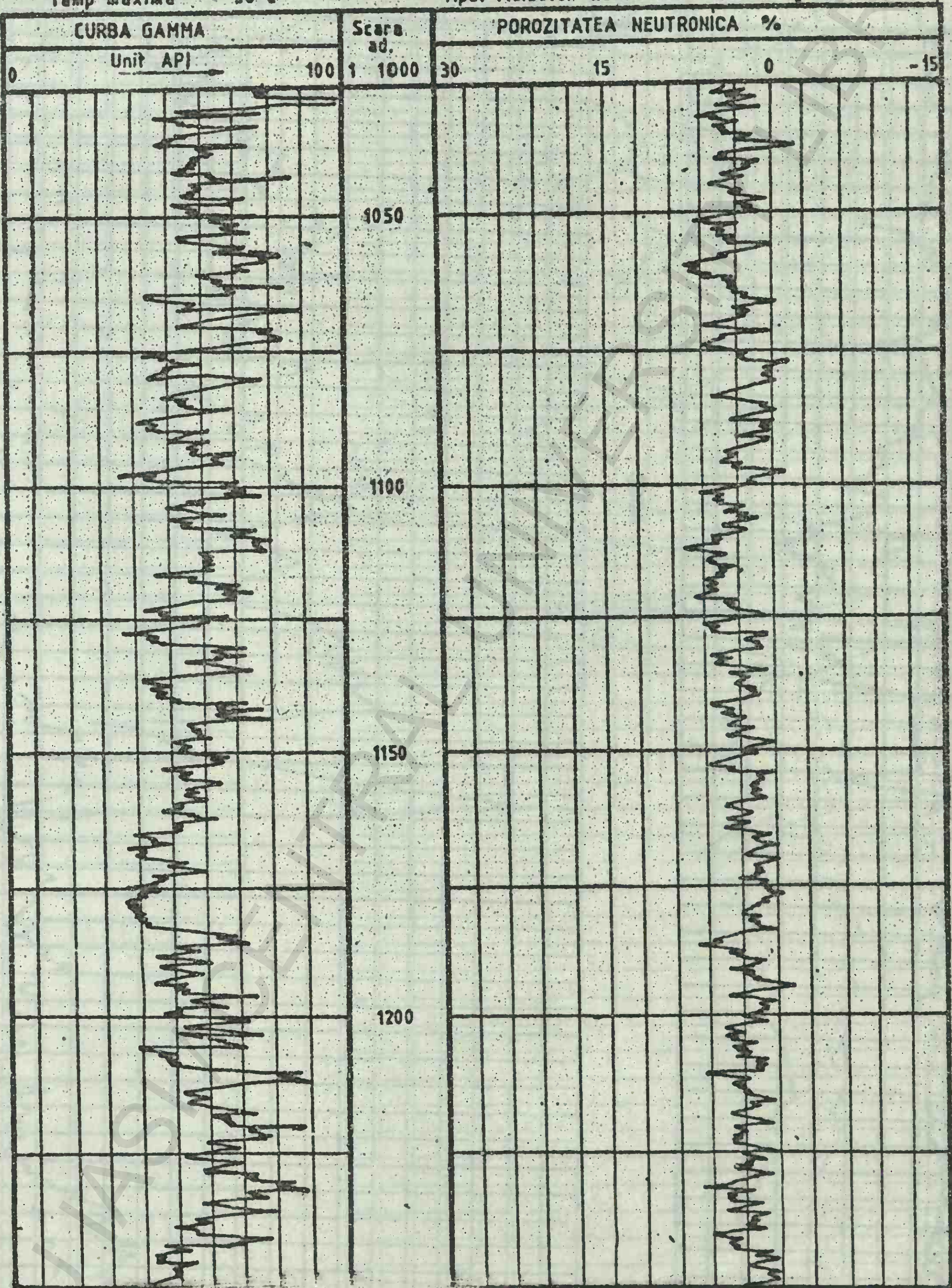
Anexa B13

CAROTAJ NEUTRONIC COMPENSAT

SONDA L

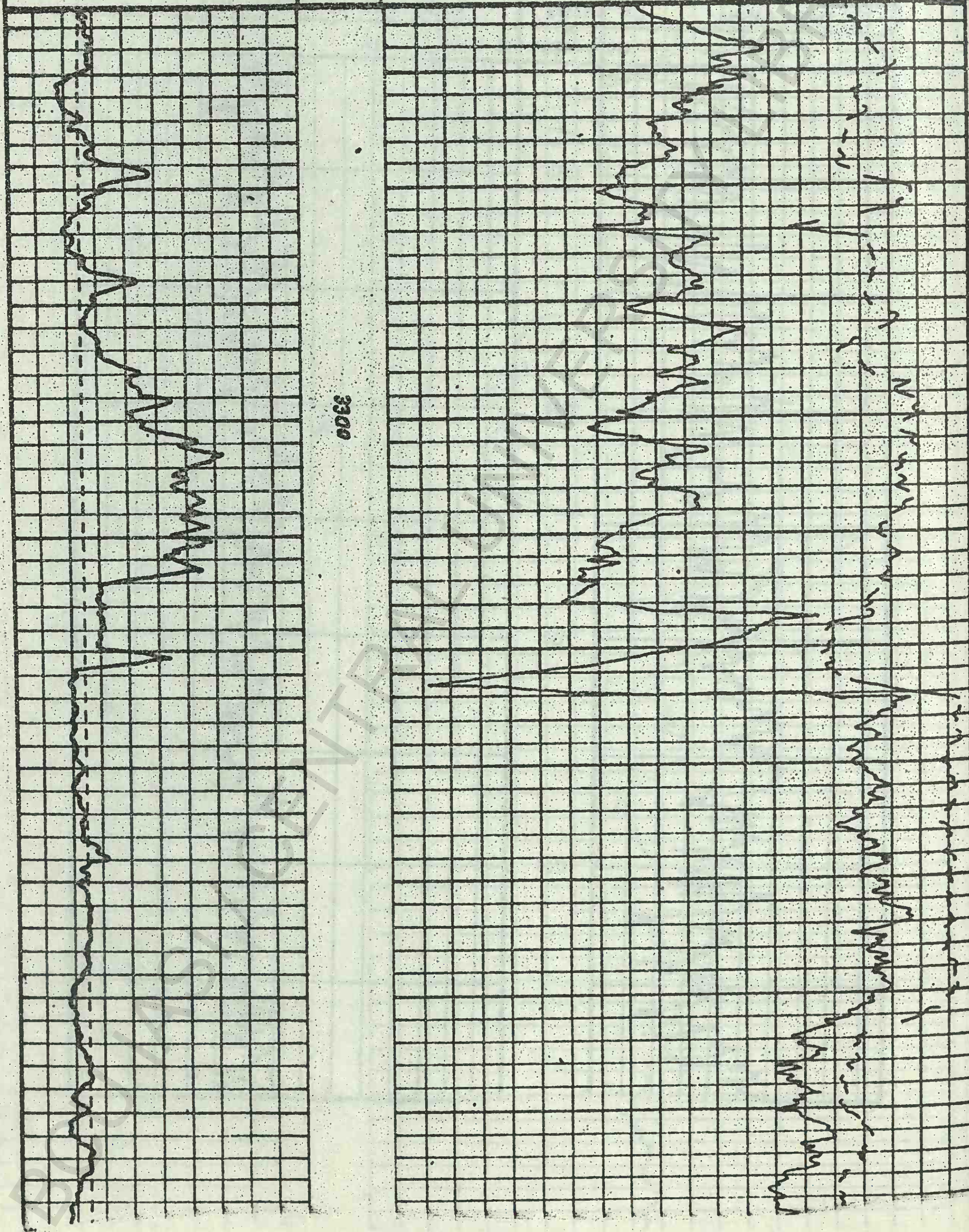
Ad. finală 1275 m
Diametrul sapei 311 mm
Temp maximă 56°C

Tipul fluidului - noroi sarat c=2600kg sare/vagon



Anexa B14

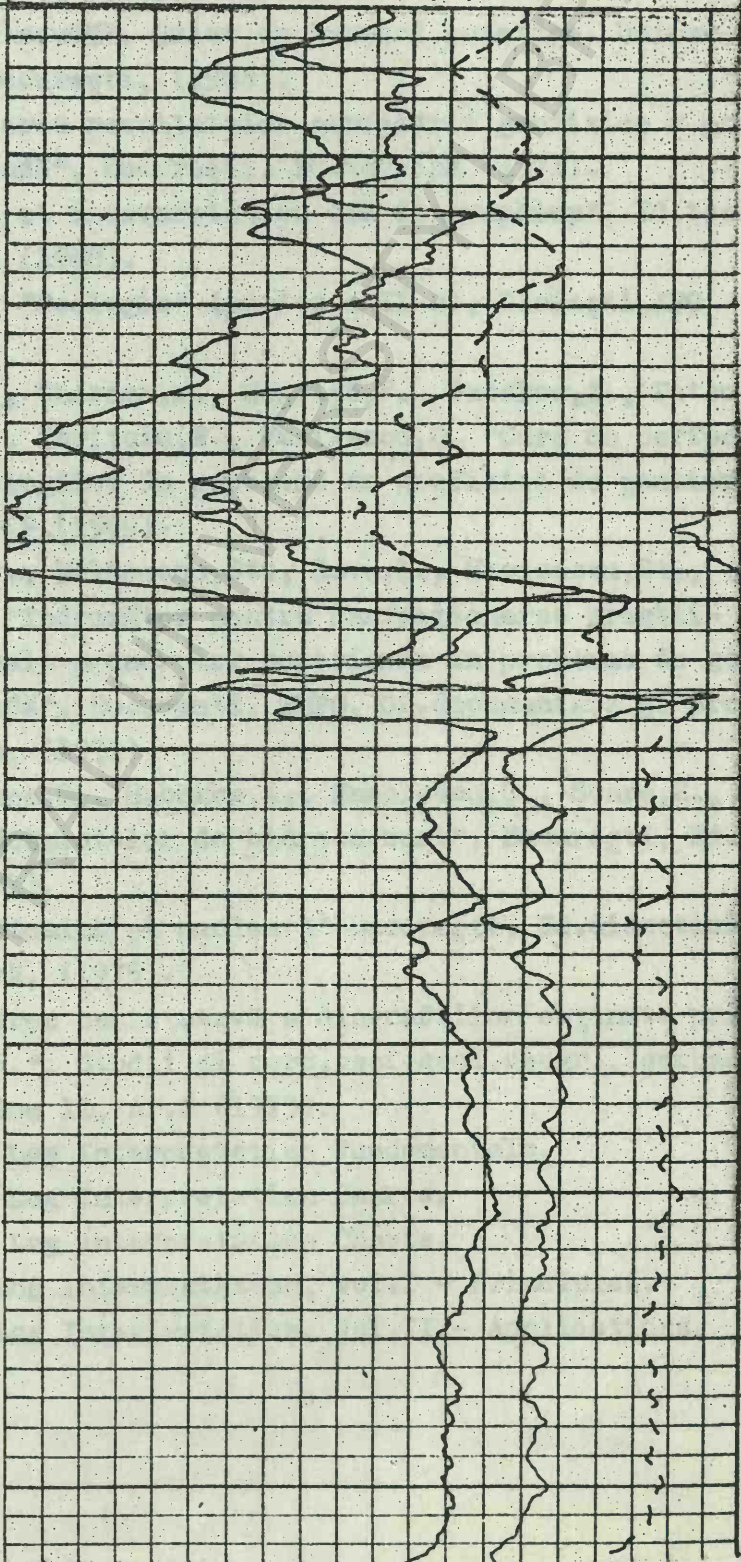
CAVERNOGRAMA	ADINCIMEA	CAROTAJ DE DENSITATE SCARA 1:200
Diametrul găurii de sondă în toli		2 gr ... 2,5 ... 3 Δρ -0,5 ... 0 ... +0,5



Anexa B_{15}

ADINCIMEA
SCARA
1: 200

3900



CUPRINS



INSTITUTUL DE PETROL SI GAZE
Centrul de multiplicare
Pentru uzul studenţilor

C-da nr. 485
Tiraj: 450 ex.
Preţ : 29,75 lei